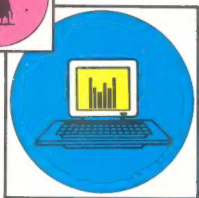


الإحصاء في البحوث العلمية



محمد أبو يوسف

أستاذ الإحصاء بقسم الرياضيات
كلية التربية جامعة عين شمس



مكتبة

الإحصاء

في البحوث العلمية

الإحصاء في البحوث العلمية

محمد أبو يوسف

استاذ الإحصاء بكلية التربية
جامعة عين شمس

النَّاشِر



المكتبة الأكاديمية

حقوق الطبع والنشر محفوظة

لا يجوز استنساخ أى جزء من هذا الكتاب أو: إيجزائه، بأى وسيلة إلا بإذن خطى من الناشر
١٢١ ش التحرير — الدق — القاهرة ت : ٣٤٩١٨٩٠ / ٣٤٨٥٢٨٢ ت لكس : ٩٤١٢٤ ABCMN UN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قُلْ لَوْ كُنْتُ مُدْرِكًا لِّمَا فِي بُحُورِ الْمَاءِ
فَلَأُتِرَّ بِهَا الْعَبَّاسِ الْهَيْئَةَ

مَدَدَهُ اللَّهُ الْعَظِيمُ

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يتناول هذا الكتاب أسس التحليل الإحصائي للتجارب الميدانية والمعملية في مجال العلوم . ولما كانت الدراسة المثمرة للإحصاء التطبيقي تتطلب حدا أدنى من المعرفة بالنظرية الإحصائية ، وإغفال ذلك يؤدي إلى فهم سطحي تنجم عنه أخطاء جسيمة في التطبيق العملي ، فقد عنى الكتاب بإرساء أساسيات وركائز هذه النظرية كما عنى بالربط بين النظرية والتطبيق وتقديم الأصول العلمية لشروط ومحددات ما يستخدم من طرق واختبارات وعمليات استدلال . وقد تجنب في ذلك كله الدخول في التفاصيل والبراهين الرياضية التي قد تعوق القارئ عن متابعة مسيرة التسلسل المنطقي للمفاهيم والأساليب الرئيسية المنشودة .

وقراءة هذا الكتاب لا تتطلب إلا اليسير من الخلفية الرياضية التي لا تخرج عن المبادئ الحسابية والجبرية البسيطة . وفي الموضوعات التي تحتاج إلى جهد كبير في إجراء العمليات الحسابية اللازمة للتحليل اعتمد الكتاب على الحاسب الالكتروني توفيراً للجهد وضماناً للدقة والسرعة ، دون أن يستلزم ذلك أن يكون الباحث قادراً على تشغيل الحاسب بنفسه بل يكفيه الاتصال بأحد مراكز الحاسب التي أصبحت اليوم متوافرة في الجامعات ومراكز البحث العلمي .

ولابد من الإشارة هنا إلى أن هذا الكتاب هو في حقيقة أمره طبعة مزيدة من كتاب سبق لي تأليفه بعنوان « مقدمة في الإحصاء البيولوجي » تكفلت جامعة

قطر مشكورة بإصداره سنة ١٩٨٤ مساهمة منها في المد الثقافي العربى وتبادل الكتب والمطبوعات العلمية مع الجامعات العربية والهيئات الثقافية الأخرى . ولقد سعدت بتدريس ذلك الكتاب عدة سنوات خلال فترة عملى بكلية العلوم بتلك الجامعة لطلاب من مختلف الشعب العلمية فى مرحلة البكالوريوس وفى الدراسات العليا التمهيدية . ولقد ضاعفت الزيادة فى هذا الكتاب من حجم الكتاب السابق ، وهى تتمثل فى توسيع بعض الفصول خاصة فصلى تحليل التباين والانحدار الخطى البسيط ، وكذلك فى إضافة خمسة فصول جديدة تحمل طابعا متقدما هى الفصول السابع والحادى عشر والثانى عشر والثالث عشر والخامس عشر . وتستهدف هذه الزيادة استكمال الجوانب التطبيقية لعلم الإحصاء تعزيزا لمحتوى الكتاب بما يخدم احتياجات قطاع أكبر من الطلاب والباحثين ، ومساهمة فى سد إحدى الثغرات العديدة التى تعانى منها المكتبة العربية فى مجال العلوم .

ويرجو المؤلف أن يكون فى الأسلوب الذى قدم به المادة وما استخدمه من أمثلة مستمد أغلبها من بحوث ودراسات واقعية ما يمكن القارئ من اكتساب منهج فكرى فى التحليل الإحصائى يجعله قادرا على المساهمة فى تخطيط التجارب وتحليلها ، والاعتماد على نفسه فى الاستزادة من دراسة الإحصاء التطبيقى ، وفى تفهم ما ينشر من البحوث فى هذا الميدان . ولعل فى تقديم المصطلحات الإحصائية باللغتين العربية والانجليزية ما ييسر للقارئ متابعة المراجع والبحوث الأجنبية التى لا غنى للباحث عنها .

أسأل الله التوفيق وعلى الله قصد السبيل .

المؤلف

محمد أبو يوسف

١٩٨٩/٨/١٨

المحتويات

الصفحات

٣٩ - ١٥	الفصل الأول : مفاهيم أولية
	المجتمع والعينة - العينة العشوائية البسيطة - المتغيرات
	الإحصائية - الأخطاء العشوائية - قواعد تقريب الأعداد -
	الاحتمال - النماذج الرياضية .
٨٥ - ٤١	الفصل الثاني : التوزيعات التكرارية
	الجداول التكرارية - التمثيل البياني للتوزيعات التكرارية - المئينات
	والربيعات - الوصف العددي للتوزيعات التكرارية (الوسط
	الحسابى والانحراف المعيارى ، الالتواء ، التفرطح) - شكل
	الساق والورقة .
١٢١ - ٨٧	الفصل الثالث : بعض نماذج الاحتمال
	توزيعات الاحتمال الوثابة - نماذج الاحتمال - توزيع ذى الحدين -
	تقدير الدليل ٢ - توفيق توزيع ذى الحدين لتوزيع تكرارى
	معلوم - توزيع بواسون (كتقريب لتوزيع ذى الحدين -
	كنموذج لتوزيع الأحداث النادرة) - اختبار استقلال الأحداث
	النادرة - نمط التجمع ونمط التنافر - توزيع باسكال -
	التوزيع الهندسى - توزيعات الاحتمال المتصلة .
١٤٧ - ١٢٣	الفصل الرابع : التوزيع المعتدل والتوزيع المعتدل اللوغاريتمى
	(أولا) : التوزيع المعتدل - بعض خواص التوزيع - جداول

المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعياري - الكشف عن
الاعتدالية - طريقة بيانية للكشف عن الاعتدالية - معالجة
عدم اعتدالية التوزيع - تقريب توزيع ذى الحدين بتوزيع
معتدل .

(ثانياً) : التوزيع المعتدل اللوغاريتمى - بعض خواصه .

الفصل الخامس : توزيعات خاصة ١٥٨ - ١٤٩

توزيعات ت ، χ^2 ، ف وجداول القيم الحرجة .

الفصل السادس : نظرية العينات ٢٢٦ - ١٥٩

نظرية العينات - توزيعات المعاينة - الإحصاءة - الخطأ المعياري -
التقدير غير المتحيز - المعاينة من مجتمعات معتدلة - المعاينة
من توزيع ذى الحدين - اختبارات الفروض - اختبارات
(اختبار فرض عن الوسط الحسابى لمجتمع معتدل - فترات الثقة
للوسط الحسابى لمجتمع معتدل - مقارنة متوسطى مجتمعين
معتدلين - اختبار استقلال الأحداث النادرة) - اختبار χ^2
(اختبار فرض عن توزيع مجتمع - اختبار حسن المطابقة -
اختبار استقلال خاصيتين - فترات الثقة لتباين مجتمع معتدل) -
اختبار ف - فترات الثقة للنسبة في مجتمع وللفرق بين نسبتين -
تحديد حجم العينة - مراقبة الإنتاج .

الفصل السابع : حساسية اختبارات الفروض ٢٥٨ - ٢٢٧

نوعا الأخطاء الإحصائية - حساب قيمة β في اختبار ذى جانب
واحد عن متوسط مجتمع معتدل (دالة القوة - العوامل المؤثرة
في الخطأ من النوع الثانى - كيفية زيادة قوة الاختبار) -
حساب قيمة β في اختبار ذى جانبين عن متوسط مجتمع
معتدل - حساب قيمة β في اختبار الفرق بين مجتمعين
معتدلين - حساب قيمة β في اختبار النسبة .

الفصل الثامن : تحليل التباين وتصميم التجارب ٢٥٩ - ٣٦١

التحليل الإحصائي وتصميم التجارب - تحليل التباين - مصطلحات وتعريف - التجارب ذوات العامل الواحد - المقارنة القبلية والبعديّة بين المتوسطات - التجارب ذوات العاملين المتفاعلين وغير المتفاعلين - المقارنات التزاوجية - التجارب ذوات الثلاثة العوامل (في مربع لاتيني) - معالجة الانحرافات عن افتراضات التحليل - عودة إلى مقارنة المتوسطات - المقارنات القبلية - معيار استقلال مقارنتين - اختبار المقارنات القبلية - تجزئء مجموع المربعات - اختبار المقارنات البعدية - النموذج عشوائى التأثيرات .

الفصل التاسع : الانحدار الخطى البسيط ٣٦٣ - ٤١٢

المجتمع ذو المتغيرين - شكل الانتشار - تقدير البارامترين β ، α ، طريقة المربعات الصغرى - الخطأ المعياري لخط الانحدار - استنتاجات إحصائية - التوسع في استخدام الانحدار الخطى البسيط - معنى آخر للانحدار - الاختلاف المفسر وغير المفسر - معامل التحديد - تحليل الانحدار حين وجود أكثر من قيمة ص لكل قيمة س - اختبار جودة العلاقة الخطية - ملاحظات عن افتراضات الانحدار - استخدامات الانحدار .

الفصل العاشر : الارتباط الخطى البسيط ٤١٣ - ٤٣٩

الانحدار والارتباط - افتراضات الارتباط الخطى البسيط - معامل الارتباط العزمى (بيرسون) - مميزات معامل الارتباط العزمى - دلالة معامل الارتباط العزمى - اختبار $r = 0$ - اختبار $r = 1$ - اختبار دلالة الفرق بين معامل ارتباط عيتين مستقلتين - التمييز بين الانحدار والارتباط في دراسة

المشكلات - معامل ارتباط الرتب (سبيرمان) - مميزات
معامل ارتباط الرتب - دلالة معامل ارتباط الرتب .

الفصل الحادى عشر : تحليل التغيرات ٤٤١ - ٤٦٨

التغيرات - العلاقة بين تحليل التغيرات وتحليل التباين - النموذج
الإحصائى - خطوات تحليل التغيرات - المقارنة بين المتوسطات
المعدلة - تحليل التغيرات فى التجارب ذوات العاملين - المقارنة
بين أزواج المتوسطات .

الفصل الثانى عشر : الانحدار والارتباط الخطى المتعدد ٤٦٩ - ٥١٠

(أولا) الانحدار الخطى المتعدد - كامتداد للانحدار الخطى
البسيط - إيجاد معادلة الانحدار - إيجاد الخطأ المعيارى للتقدير
من خط الانحدار - اختبار دلالة الانحدار ككل - اختبار دلالة
معاملات الانحدار الجزئية - استخدام الحاسب الالكترونى -
طريقة دوليتل لحل المعادلات الخطية - أسلوب آخر لاختبار
دلالة معاملات الانحدار الجزئية - اختبار متغيرات التنبؤ .
(ثانيا) الارتباط الخطى المتعدد : معامل الارتباط الخطى المتعدد
واختبار دلالة - معامل الارتباط الجزئى واختبار دلالة .

الفصل الثالث عشر : دالة التمييز ٥١١ - ٥٢٨

دالة التمييز - إيجاد دالة التمييز (حالة متغير واحد وحالة ك من
المتغيرات) - افتراضات التحليل - النقطة الحدية - احتمال خطأ
التقسيم - اختبار تساوى أزواج المتوسطات - اختبار ت^٢ -
استخدامات دالة التمييز .

الفصل الرابع عشر : الطرق غير البارامترية ٥٢٩ - ٥٦٣

اختبار التلاحقات - اختبار الإشارة - اختبار ويلكوكسن
للمقارنات التزاوجية - اختبار الاتجاه - اختبار كروسكال -
واليس ، اختبار فريدمان

الفصل الخامس عشر : اختيار العينات وتحليلها ٥٦٥ - ٦٠٦

المعينة العشوائية - المعينة الاحتمالية - العينة العشوائية البسيطة -

العينة الطبقية (طريقة التقسيم المتناسب - طريقة التقسيم

الأمثل - تقدير البارامترات والأخطاء المعيارية - المعينة

الطبقية من مجتمع ذى حدين) - العينة المتعددة المراحل

(التحليل الاحصائي - الاختبارات الإحصائية) - العينة

المنتظمة - المعينة المساحية - العينات غير الاحتمالية .

الملحق (١) أجوبة التمارين ٦٠٧ - ٦١٧

الملحق (٢) جداول إحصائية ٦١٩ - ٦٤١

مراجع ٦٤٣

الفصل الأول

مفاهيم أولية

يتناول هذا الفصل عدداً من المفاهيم التي تركز عليها دراسة الإحصاء التطبيقي خاصة في مجال العلوم ، فهي بمثابة الأبجدية التي لا مفر من إرسائها قبل متابعة تلك الدراسة . وهي وإن بدت منفصلة عن بعضها إلا أنها تتكاتف معا لخدمة موضوعات الفصول التالية .

(١ - ١) المجتمع والعينة :

إن التمييز بين المجتمع والعينة هو أول ما ينبغي أن يتنبه له أي باحث تطبيقي خاصة حين يستخدم الطرق الإحصائية وعملية الاستدلال الإحصائي .

في الإحصاء تستخدم كلمة **مجتمع** للتعبير عن أي مجموعة (منتهية أو لا نهائية) من الأشياء أو الأحداث التي تكون موضع اهتمامنا في وقت ما من حيث ظاهرة ما أو متغير ما سـ . ومن أمثلة المجتمعات الإحصائية : جميع نباتات حنك السبع المزروعة في حقل ما في وقت ما ، جميع نباتات البسلة في العالم ، جميع القواقع في بحيرة ما ، جميع الفيران من نوع معين ، سقوط المطر في منطقة ما ...

وينبغي أن يكون المجتمع الذي ندرسه معرّفاً تعريفاً جيداً خاصة فيما يتعلق بالمتغير سـ وطريقة قياسه وفي تحديد الوحدة أو العنصر التي يتكون المجتمع من مجموعها . فمثلاً قد يعبر المتغير سـ عن الطول أو الوزن أو اللون أو عدد ضربات القلب التي تنتج عن حقن قلب الفأر بمادة الأدرينالين ... وقد تكون الوحدة هي قرن بسلة أو قوقعة أو قلب فأر ...

وفي كثير من الأحيان يمكن وصف المتغير x في مجتمع ما عن طريق نموذج نظري يوضع على هيئة معادلة أو صيغة رياضية تعبر عما يسمى « توزيع المجتمع » فنقول مثلا إن مجتمعا ما هو مجتمع معتدل أو مجتمع ذو حدين أو مجتمع بواسوني ... وهذا ما سوف نتناوله فيما بعد .

والأعداد التي تميز مجتمعا ما تسمى بارامترات (أو معالم أو أدلة أو ثوابت) المجتمع وهي أعداد ثابتة تميز كل مجتمع عن غيره من المجتمعات حتى ولو كان له نفس التوزيع ، مثل الوسط الحسابي μ وهو مقياس للنزعة المركزية للمجتمع ، والانحراف المعياري σ وهو مقياس لتشتت مفردات المجتمع حول الوسط الحسابي .

أما العينة فهي جزء من المجتمع يختار بحسب مواصفات معينة وبهدف استخدامها لدراسة المجتمع ، وهناك من النظريات والطرق الإحصائية ما يمكننا من تقدير بارامترات المجتمعات أو مقارنتها أو إصدار قرارات أو تنبؤات بشأنها عن طريق فحص ودراسة عينات مأخوذة منها .

وبطبيعة الحال ينبغي أن نتحار العينة بحيث تمثل المجتمع أفضل تمثيل ممكن ، على أن التحليل الإحصائي يتطلب بالضرورة أن تكون العينة عشوائية . والعشوائية لا تعني أن نأخذ جزءا من المجتمع بشكل جزائي ، بل هي إجراء يصمم بدقة بحيث يضمن عدم وجود تحيز من أى نوع قد يؤثر في عملية اختيار العينة وبحيث يكون لكل وحدة من وحدات المجتمع احتمال معروف للدخول في العينة . ومن ثم فقد وضعت خطط مختلفة للمعاينة العشوائية random sampling plans أى لسحب العينات العشوائية ، يتوقف استخدام أى منها لدراسة مجتمع ما على طبيعة هذا المجتمع وعلى الهدف من دراسته . ومن أشهر هذه الخطط ما ينتج العينات التي تحمل الأسماء الآتية : العينة العشوائية البسيطة - العينة الطبقية - العينة ذات المراحل - العينة المنتظمة - العينة المساحية ... وسنهتم هنا بصفة خاصة بالعينة العشوائية البسيطة التي هي على أية حال أساس لكثير من تلك الخطط ، أما بقية الخطط فقد أفرد لها فصل خاص هو الفصل الخامس عشر من هذا الكتاب .

(١ - ٢) العينة العشوائية البسيطة : SIMPLE RANDOM SAMPLE

لعل أبسط تعريف للعينة العشوائية البسيطة هو أنها تلك العينة التي تؤخذ من المجتمع بحيث يكون لكل وحدة من وحداته نفس الفرصة في الظهور في العينة . ولذلك فإن هذه العينة لا تصلح لتمثيل المجتمع إلا إذا كان هذا المجتمع متجانسا من حيث المتغير الذي ندرسه . وفيما يلي حين نذكر كلمة عينة فسوف نقصد عينة عشوائية بسيطة .

ولعل أوضح خطة لاختيار عينة عشوائية بسيطة من مجتمع منتهي هي تلك التي اشتهر استخدامها في تحديد أصحاب جوائز المسابقات التلفزيونية . نفرض مثلا أن لدينا ٤٥٢ شخصا أجابوا إجابات صحيحة ونريد أن نختار منهم ٢٠ شخصا دون تحيز . إن هذا يعني أن لدينا مجتمعا متجانسا حجمه ٤٥٢ ونريد سحب عينة عشوائية بسيطة حجمها ٢٠ . نعد ٤٥٢ قطعة صغيرة متطابقة من الورق ونكتب عليها أسماء هؤلاء الأشخاص (أو نعطيهم أرقاما متسلسلة من ١ إلى ٤٥٢) ثم نكتب هذه الأرقام على قطع الورق . نضع هذه القطع في علبة ونخلطها جيدا ثم نسحب منها ٢٠ قطعة الواحدة بعد الأخرى دون أى تحيز مع إرجاع كل قطعة تسحب إلى الصندوق قبل كل سحبة و نخلط القطع جيدا في كل مرة وإهمال القطع التي تتكرر في السحب ، فتكون مجموعة الأشخاص الذين تظهر أرقامهم أو أرقامهم على هذه القطع هي العينة المطلوبة .

غير أنه يمكن الاستغناء عن العلبة وقطع الورق وبناء خطة الاختيار على أحد الجداول المسماة بمجداول الأرقام العشوائية ، مثل الجدول (١) بملحق هذا الكتاب . ويتألف هذا الجدول من عدة أعمدة (أو صفوف) مجموعة كل حمة معا للسهولة وبكل عمود أرقام ٠ ، ١ ، ٢ ، ... ، ٩ مرتبة ترتيبا خاصا يجعل لكل من هذه الأرقام نفس الفرصة في الظهور في أي موضع بالجدول ، ويمكن أن نقرأ منها أعدادا متتابعة يتألف كل منها من رقم واحد أو رقمين أو ثلاثة .. أي نأخذ عمودا واحدا أو اثنين أو ثلاثة ... حسبما نريد ، كما يمكن أن نبدأ القراءة

من أى صف أو أى عمود وفي أى اتجاه ، إلى أعلى أو إلى أسفل يمينا أو يسارا أو قطريا . ويعتمد عدد الأعمدة التي نختارها على عدد الأرقام التي يشتمل عليها حجم المجتمع .

مثال (١ - ١) :

لدينا مجتمع حجمه ٥٠٠ من المرضى بمرض معين ونريد أن نستخدم جدول الأرقام العشوائية لاختيار عينة عشوائية بسيطة حجمها ٢٠ لإجراء بعض القياسات على عناصرها .

نظرا لأن حجم المجتمع وهو ٥٠٠ يتألف من ثلاثة أرقام ، نعطي لوحات المجتمع أرقاما مسلسلة ٠٠١ ، ٠٠٢ ، ٠٠٠ ، ٠١٠ ، ٠١١ ، ٠٠٠ ، ٤٩٩ ، ٥٠٠ يتألف كل منها من ٣ خانات ومن ثم نحتاج لاختيار العينة إلى ثلاثة أعمدة . نفمض أعيننا ونضع أصبعنا عشوائيا على أى نقطة في الجدول ولتكن هذه النقطة هى نقطة التقاء العمود ٨ والصف ٢١ حيث نجد العدد ٠٠٨ فيكون هذا الرقم هو الرقم المسلسل الأول في العينة . نقرأ ابتداء من هذا العدد رأسيا إلى أسفل (مثلا) بشكل هندسي ثابت مع إهمال الأعداد التي تزيد عن ٥٠٠ والأعداد التي يتكرر ظهورها . وإذا صادف أن انتهى العمود ٨ ولم يكتمل بعد الحجم المطلوب للعينة نتحول إلى ثلاثة أعمدة أخرى من أى من الجانبين الأيمن أو الأيسر ونقرأ من أعلى الجدول أو من أى مكان آخر في نفس الاتجاه السابق حتى نصصل إلى الحجم المطلوب ونكون بذلك قد توصلنا إلى عينة عشوائية بسيطة قد تأخذ مفرداتها الأرقام المسلسلة الآتية :

٠٠٨ ١٤٢ ٠١٨ ١٤٣ ٤١٨ ٤٩١ ٢٤٠ ٠٢٠ ١٤٠ ٠٠٦
١٠١ ٢٤٩ ٠١٦ ١٣٤ ٠٤٩ ٣١٩ ٤٨٣ ٢٣٢ ٠٥٢ ٠٢٩

ملاحظة : احتمال الحصول على عينة بهذه الطريقة يساوى احتمال الحصول على أى عينة أخرى من نفس الحجم ، وتؤخذ هذه الخاصة أحيانا كتعريف للعينة العشوائية البسيطة

STATISTICAL VARIABLES : المتغيرات الإحصائية : (٣ - ١)

في أي دراسة تطبيقية إحصائية ينبغي أن نحصل على بيانات عددية عن المتغيرات التي ندرسها . وتختلف طريقة تناولنا لهذه البيانات باختلاف تلك المتغيرات التي يمكن تقسيمها بصفة عامة إلى الأنواع الآتية :

أولاً - المتغيرات الوصفية (أو النوعية) :

QUALITATIVE VARIABLES (ATTRIBUTES)

وهي متغيرات لا يمكن قياس مفرداتها عددياً ولكن يمكن تقسيم هذه المفردات بحسب اشتراكها في صفة أو خاصية ما . ومن أمثلة هذه المتغيرات متغير اللون أو الجنس أو المهنة أو الخواص الوراثية . والجدول (١ - ١) هو مثال لبيانات وصفية فهو يعطى التوزيع التكرارى لألوان عيون عينة من ٨٠ فاراً .

الجدول (١ - ٢)

ترتيب محكمين خمسة من الأشخاص

الترتيب	المحكم الأول	المحكم الثاني
أ	٢	١
ب	١	٢
ج	٤	٥
د	٣	٤
هـ	٥	٣

الجدول (١ - ١)

التوزيع التكرارى لألوان عيون عينة من الفيران

اللون	التكرار
أسود	٤
ياقوتي	٢
رمادي	٧٤
المجموع	٨٠

RANKED VARIABLES

ثانياً - المتغيرات الرتبية :

وهي أيضاً متغيرات لا يمكن قياس مفرداتها عددياً ولكن يمكن تنظيم هذه المفردات بحسب ترتيبها ما أو رتبة ما . ومن أمثلة هذه المتغيرات متغير النمو الذي

يمكن تقسيمه إلى ضعيف - عاى - مفرط ، كذلك المتغيرات التي تنتج من عملية التحكيم كما هو الحال مثلاً عندما يطلب إلى مجموعة من علماء النبات ترتيب عشرة نباتات من حيث شدة التلف الذى أصابها من مرض فطرى ، فيعطى كل منهم بحسب تقديره الترتيب (١) لأقل النباتات تأثراً بالمرض والترتيب (١٠) لأكثرها تأثراً ، أو حينما يطلب إلى مجموعة من الأطباء إبداء آرائهم في مشاهداتهم الميكروسكوبية عن مرض السرطان وترتيبها من حيث تزايد الورم السرطانى . الجدول (١ - ٢) يعطى الترتيب الذى رآه اثنان من المحكمين لخمسة من المتقدمين لشغل وظيفة ما .

١١٤ - المتغيرات العددية « الكمية » : QUANTITATIVE VARIABLES

وهى التى يمكن التعبير عنها بالأعداد العادية (الحقيقية) فيكون التغير فيها هو تغير من حيث المقدار أى يمكن تقسيم مفرداتها بحسب الأصغر والأكبر ، ونميز هنا بين النوعين الآتين :

(١) المتغيرات المتصلة : CONTINUOUS VARIABLES

وهى تلك التى نحصل عليها عادة عن طريق القياس measurement مثل الطول والوزن والعمر ودرجة الحرارة . وفى هذه المتغيرات نستطيع أن نتصور أن المفردات يمكن أن تختلف عن بعضها بمقادير صغيرة صغراً لا نهائياً من الناحية النظرية . وإذا وقعت قيم متغير متصل بين عددين ١ ، ب فإنها تمثل بيانياً بجميع نقط قطعة مستقيمة محدودة بهذين العددين .

(ب) المتغيرات الوثائية : DISCRETE (OR MERISTIC) VARIABLES

وهى تلك التى نحصل عليها عادة عن طريق العد counting مثل عدد الذرية - عدد الخلقة - عدد ضربات القلب . ومجموعة قيم المتغير الوثائب قد تكون منتهية مثل { ٠ ، ١ ، ٢ ، ... ، ن } أو لا نهائية مثل { ٠ ، ١ ، ٢ ، ... } . وفى كلتا الحالتين تمثل بيانياً بنقط منفصلة على خط مستقيم .

وفي المتغيرات العددية تميز من جهة أخرى بين المتغيرات العشوائية والمتغيرات غير العشوائية . والمتغيرات العشوائية هي متغيرات تخضع لمؤثرات عشوائية لا يمكن التحكم فيها تجريبيا ومن أمثلتها متغير درجات حرارة الجو ومتغير ضغط دم الإنسان أو تحصيله الدراسي ومتغير عدد ضربات قلب ضفدعة بعد معالجة ما ، وهذه جميعها تتأثر بعوامل عشوائية غير منظورة . أما المتغيرات غير العشوائية (أو الرياضية) فهي تلك التي لا تكون واقعة تحت تأثير عوامل عشوائية ولذلك يمكن قياسها بدقة أو بأخطاء صغيرة يمكن إهمالها .

ويهتم الإحصاء بصفة خاصة بالمتغيرات العشوائية بل هي محور الدراسة فيه نظريا وتطبيقيا ولذلك سوف نتناولها بشيء من التفصيل هي وتوزيعاتها ونماذجها في الفصل الثالث من هذا الكتاب ليتيسر لنا التعامل معها بعد ذلك في الفصول التالية .

(١ - ٤) الأخطاء العشوائية (أخطاء الصدفة) RANDOM ERRORS

هناك أخطاء تخص المجال الذي يعمل فيه الباحث ولا تدخل في صميم الموضوعات الإحصائية كالأخطاء الناتجة عن عدم ضبط الأجهزة أو الأدوات المستخدمة في القياس أو عدم توفر الظروف الملائمة لإجراء التجربة كدرجة الحرارة أو الرطوبة ، أو الأخطاء الناتجة عن عدم ملائمة طريقة القياس ، أى عندما يكون هناك اختلاف بين التعريف النظري للمتغير والتعريف الإجرائي المستخدم في عملية قياس هذا المتغير .

أما ما نهتم به في الإحصاء فهي الأخطاء العشوائية ، وتظهر في الاختلافات التي نجدها في القيم العددية التي نحصل عليها عند القيام بقياسات متكررة لنفس الوحدة أو الشيء ، كما هو الحال مثلا عند قياس طول حشرة عدة مرات . ويتسبب في هذه الاختلافات عدد كبير من العوامل الثانوية التي نعجز عن حصرها أو تحديد مصدرها أو التنبؤ بها ونعجز عن حساب التأثير الضئيل الذي يحدثه كل منها على حدة . وبالتالي نعجز عن التحكم فيها تجريبيا ، وفي هذه الحال نحاول البحث عن وسائل تسمح بتقدير تأثيرها الكلي للإفادة من هذا التقدير في عملية التحليل الإحصائي .

وحيث تكون القياسات معرضة للأخطاء العشوائية فقط فإن أى قيمة s_r تحصل عليها من قياس عنصر منه تمثل بالتمودج الآتى :

$$s_r = \bar{A} + \bar{X}_r$$

حيث \bar{A} هى القيمة الحقيقية للعنصر المقاس ، \bar{X}_r هى الخطأ فى s_r أى انحراف s_r عن القيمة الحقيقية \bar{A} .

إلا أنه على المدى البعيد تميل هذه الأخطاء إلى تعويض بعضها البعض بمعنى حدوث توازن بين الأخطاء الموجبة والأخطاء السالبة بحيث يقترب متوسط القياسات من القيمة الحقيقية للشيء الذى نقيسه ، ولذلك فإننا نفترض فى كثير من الحالات أن متوسط الأخطاء هو صفر على المدى البعيد .

(١ - ٥) قواعد تقريب الأعداد : RULES FOR ROUNDING

كثيرا ما نلجأ إلى تدوين قياساتنا للمتغيرات العددية مقربة إلى عدد معين من الخانات . ولقد وجد أنه من المناسب الاتفاق على القواعد الآتية :

ليكن q هو الرقم الذى فى الخانة المراد التقريب إليها ، \bar{A} هو الرقم التالى من اليمين مباشرة للرقم q .

(أولا) إذا كان $\bar{A} > ٥$ يبقى الرقم q كما هو .

(ثانيا) إذا كان $\bar{A} < ٥$ يزداد الرقم q واحدا .

(ثالثا) إذا كان $\bar{A} = ٥$ ، \bar{A} متبوعا بأرقام غير الصفر ، يزداد الرقم q واحدا .

أما إذا كان $\bar{A} = ٥$ ، \bar{A} يقف وحده أو متبوعا بأصفار ، يبقى الرقم q كما هو إذا كان زوجيا ويزاد واحدا إذا كان فرديا . وهذه القاعدة الأخيرة من شأنها إحداث توازن بين الأعداد التى زيدت فى التقريب والأعداد التى نقصت ، خاصة إذا كان لدينا متتابعة طويلة من الأعداد المقربة .

مثال (١ - ٢)

العدد مقربا (إلى عاشرين عشريتين)

العدد

أ ق

٤٨,٣٢	٤٨,٣٢٤٦
٤٨,٣٣	٤٨,٣٢٦٠
٤٨,٣٣	٤٨,٣٢٥١
٤٨,٣٢	٤٨,٣٢٥٠
٤٨,٣٢	٤٨,٣١٥٠

مثال (١ - ٣) :

العدد المقرب	عدد الأرقام المعنوية المطلوبة	العدد
٢٧	٢	٢٦,٥٨
١٣٣,٧١	٥	١٣٣,٧١٤٧
١٣٣,٧١٥	٦	١٣٣,٧١٤٧
,٠٣٧٢	٣	,٠٣٧٢٥
,٠٣٧٢	٣	,٠٣٧١٥
١٨٠٠٠	٢	١٨٣١٦
١٨٣٠٠	٣	١٨٣١٦
١٧,٣	٢	١٧,٣٤٧٦

هذا مع ملاحظة أن آخر رقم في عدد مقرب ينبغي دائما أن يكون معنويا أى ينبغي أن يتضمن فترة تقع فيها القيمة الحقيقية للعدد ، وهذه الفترة تبدأ بنصف وحدة خطوة أسفل العدد المقرب المدون وتنتهى بنصف وحدة خطوة أعلاه ممثلا العدد المقرب ٧,٨ يعنى أن قيمته الحقيقية تقع في الفترة بين ٧,٧٥ ، ٧,٨٥ أى ٧,٨ \pm ٠,٠٥ والعدد المقرب ٧,٨٠ يعنى أن قيمته الحقيقية تقع في الفترة بين

٧,٧٩٥ ، ٧,٨٠٥ أى $7,805 \pm 0,005$ والعدد المقرب ٣,٢٤ يعنى أن قيمته الحقيقية تقع فى الفترة بين ٣,٢٣٥ ، ٣,٢٤٥ أى $3,24 \pm 0,005$

وحين نرغب فى تدوين قياس وحدة ما مقربة إلى عدد معين من الخانات نوجد هذا القياس بحيث يكون عدد الخانات الناتجة أكثر بواحد على الأقل من العدد المطلوب ثم نجرى التقريب . فمثلا لإيجاد خارج القسمة $10 \div 7$ مقربا إلى ٣ خانات عشرية نقوم بعملية القسمة حتى نحصل على ٤ خانات ثم نقرب إلى ٣ خانات كالآتى : $10 \div 7 = 1,428 = 1,43$ تقريبا .

(١ - ٦) الدقة والضبط : ACCURACY AND PRECISION

الدقة هى تعبير عن مدى قرب قيمة نتجت عن قياس وحدة ما من القيمة الحقيقية لهذه الوحدة ، أما الضبط فهو تعبير عن مدى قرب القياسات المتكررة لوحدة ما من بعضها البعض تحت نفس الظروف . والإحصاء يهتم أساسا بالضبط لأن الضبط يتضمن الدقة طالما كانت أداة القياس غير متحيزة .

والدقة فى عدد مقرب يحكم عليها بدلالة النسبة المئوية للخطأ الذى يحتويه ، فمثلا نفرض أن عددا سجل على أنه ٨٩ تقريبا . إن هذا يعنى أن القيمة الحقيقية لهذا العدد تقع بين العددين ٨٨,٥ ، ٨٩,٥ وتكون القيمة المطلقة للحد الأقصى للخطأ هى ٠,٥ وبالتالي تكون نسبة الخطأ هى :

$$\frac{0,5}{89} \times 100 = 0,56 \%$$

نفرض أن عددا آخر سجل على أنه ١٥,٥ تقريبا فتكون نسبة الخطأ هى :

$$\frac{0,5}{15,5} \times 100 = 3,22 \%$$

ونظرا لأن ٠,٥٦ أكبر من ٣,٢٢ نقول إن العدد ٨٩ أقل دقة من العدد ١٥,٥ أى أن العدد يكون أكثر دقة إذا استطعنا كتابته بعدد أكبر من الأرقام المعنوية .

أما الضبط فنحكم عليه بعدة طرق منها حجم الوحدة المستخدمة في القياس ، ففي قياس طول وحدة ما يكون القياس أكثر ضبطاً حين نستخدم مسطرة مدرجة بالمليمترات عنه حين نستخدم مسطرة مدرجة بالبوصات . وفي الإحصاء يتم التعبير عن الضبط في كثير من الحالات بواسطة الانحراف المعياري للقياسات المتكررة .

PROBABILITY

(٧ - ١) الاحتمال :

إن القرارات والأحكام والتنبؤات التي نتخذها في الإحصاء هي دائماً قرارات احتمالية بمعنى أننا لا نستطيع أن نجزم جزءاً باتاً بصحتها أو بخطئها ، فنأخذ القرارات مصحوبة باحتمالات معينة للصواب أو الخطأ . ولعل هذا هو الذي أعطى الإحصاء قوته الكبرى وميزته عن الرياضيات ، إذ يتعرض للقضايا والفروض التي تعلن الرياضيات عجزها عن تناولها ، فيست فيها بأسلوب احتمالي هو على أية حال أفضل من ترك القضايا دون حل عملاً بالحكمة القائلة : « ما لا يدرك كله لا يترك كله » . ويهمننا في مستهل دراستنا للإحصاء أن نتبين معنى الاحتمال من الناحية التطبيقية على الأقل .

إذا كان لدينا فرض ما فإننا نعين لصواب هذا الفرض العدد « ١ » ونعين لخطئه العدد « صفر » ومن ثم فإن أى عدد يقع بين الصفر والواحد يمكن أن يعبر عن درجة صواب أو خطأ هذا الفرض . إن الأعداد التي تبدأ بالصفر وتنتهي بالواحد هي التي نعبر بها عن الاحتمالات ، فنقول مثلاً إن احتمال ظهور البترول في منطقة ما هو ٠,٦ أو إن احتمال الحصول على نباتات حمراء من مجموعة معينة من بذور حنك السبع هو ٠,٤ وهكذا ... ويؤخذ الاحتمال بداية كقياس لدرجة اعتقادنا أو شدة اقتناعنا في صحة فرض ما أو في وقوع حدث ما . وليس من المناسب أن نعتبر هذا تعريفاً للاحتمال لأنه يخضع لذاتية المشاهد وخبرته ، ومع ذلك فكثيراً ما نجد أنفسنا مضطرين إلى أن نقدر احتمال حدث ما بالبداية أو الخبرة أو أى عوامل ذاتية أخرى وذلك حين لا تتوفر عوامل مباشرة تكفي لحساب احتمال الحدث .

والتعريف الدقيق للاحتفال يتألف من مجموعة من المسلمات المصاغة صياغة رياضية ، على أن الدراسات التطبيقية لا تحتاج إلى هذا التعريف وإنما تكفى بتعريفين فى مستوى أقل ، فيعتبر الأول أن الاحتمال هو « نسبة » ويعتبر الثانى أن الاحتمال هو « تكرار نسبى » كما هو موضح بعد .

(أ) التعريف التقليدى : CLASSICAL DEFINITION

إذا أسفرت تجربة عن n من النواتج أو الحالات المتساوية الإمكانيات وكان الحدث أ يقع فى m من هذه النواتج فإن احتمال وقوع هذا الحدث يساوى $\frac{m}{n}$ أى يساوى النسبة بين عدد الحالات التى يمكن أن يقع فيها الحدث والعدد الكلى للحالات التى يمكن أن تسفر عنها التجربة .

فمثلا إذا ألقينا حجرة نرد منتظمة عشوائيا تكون النواتج الممكنة للتجربة هى الأعداد الست ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ وهذه النواتج متساوية الإمكانيات لأنه لا يوجد لدينا ما يجعلنا نتوقع ظهور أحدها دون الآخرين وعلى ذلك فإن احتمال الحدث « عدد فردى » مثلا هو $\frac{3}{6} = \frac{1}{2}$. كذلك احتمال سحب « صورة » من مجموعة محكمة الخلط من ورق اللعب $= \frac{17}{54} = \frac{1}{3}$.

(ب) التعريف الإحصائى : STATISTICAL DEFINITION

ينطلق هذا التعريف من فكرة التكرار النسبى ومن ظاهرة اكتشفت بالملاحظة والتجريب تعرف بظاهرة الانتظام الإحصائى Statistical regularity وجعلها أنه إذا كررت تجربة مرات كثيرة تحت نفس الظروف (مثل زراعة بذرة من نبات حنك السبع) فإن التكرار النسبى لحدث ما متعلق بهذه التجربة (مثل ظهور اللون الأحمر) يقترب من عدد ثابت كلما زاد عدد مرات إجراء التجربة ، ويؤخذ هذا العدد كتقدير لاحتمال ذلك الحدث . ولذلك يعرف احتمال حدث ما بأنه نهاية متتابعة من التكرارات النسبية لوقوع هذا الحدث . فمثلا إذا ألقينا قطعة نقود منتظمة عشوائيا عشر مرات ثم مائة ثم ألف ثم ... فإن التكرار النسبى لظهور

الصورة يقترب من العدد $\frac{1}{p}$ كلما زاد عدد مرات إلقاء القطعة . وهنا نقول إن احتمال الحدث « ظهور الصورة » هو $\frac{1}{p}$. ويفهم من هذا أنه إذا رميت قطعة نقود عددا كبيرا من المرات فإن نسبة عدد المرات التي تظهر فيها الصورة إلى العدد الكلي لمرات رمي القطعة هو $\frac{1}{p}$ (على المدى الطويل) .

ويوحى التعريف الإحصائي بطريقة مناسبة لإيجاد احتمالات الأحداث تجريبيا ، فإذا أردنا مثلا إيجاد احتمال وجود وحدة معينة من الوحدات التي ينتجها مصنع ما ، نسحب عينة عشوائية كبيرة من هذه الوحدات ونحسب التكرار النسبي للوحدات المعينة فنحصل على تقدير للاحتمال المطلوب ، ويمكن بعد ذلك اختبار دقة هذا التقدير بالطرق الإحصائية التي سندرسها بعد .

أما التعريف التقليدي فيصلح لإيجاد الاحتمالات نظريا في الحالات التي يتوفر فيها شرط تساوى الإمكانيات كما في المثال الآتي .

مثال (١ - ٤) :

في مجموعة من ١٠٠ رجل علم أن ١٢ منهم يلبسون نظارات ، ٨ منهم لا يلبسون نظارات ولكن يحتاجون إليها . إذا اخترنا رجل واحد من هذه المجموعة عشوائيا فإن :

- (أ) احتمال أن يكون الرجل لايساً نظارة $= 0,12$
- (ب) احتمال أن يكون الرجل « لا يلبس نظارة ولكن يحتاج إليها » $= 0,08$
- (ج) احتمال أن يكون الرجل « لا يلبس نظاره ولا يحتاج إليها » $= 0,80$

امتداد للتعريف التقليدي .

في التعريف التقليدي للاحتمال الذي سبق تقديمه يتناول التجارب التي تسفر عن عدد منتهى من النواتج ، إلا أنه مع بعض التعديل يمكن أن يمتد ليشمل التجارب التي تسفر عن عدد غير منتهى من النواتج كذلك التي يكون فيها لفضاء التجريب هيئتين هندسي كالطول أو المساحة أو الحجم . فإذا كان هذا الفضاء يتألف من

منطقة محددة ا وكانت المنطقة ب جزءا من المنطقة ا واخترنا عشوائيا نقطة من المنطقة ا فإن احتمال الحدث « وقوع النقطة في المنطقة ب » يعرف بالنسبة :

$$\frac{\text{مقياس ب}}{\text{مقياس ا}}$$

وذلك مع الاحتفاظ بفرض تساوى الإمكانيات . ويلاحظ هنا أن تعبير العشوائية يعنى أن احتمال وقوع نقطة في جزء من فضاء التجريب يتناسب مع مقياس هذا الجزء وأن هذا الاحتمال مستقل عن شكل المنطقة وموضعها .

مثال (١ - ٥)

اختيرت نقطة عشوائيا من داخل دائرة ا نصف قطرها ٣ سم . ما احتمال ألا يزيد بعد هذه النقطة عن مركز الدائرة عن ٢ سم ؟
الحل :

يقع الحدث المطلوب إذا وقعت النقطة المختارة داخل دائرة ب لها نفس مركز الدائرة ا ونصف قطرها ٢ سم .

$$\therefore \text{الاحتمال المطلوب} = \frac{\text{مقياس الدائرة ب}}{\text{مقياس الدائرة ا}} = \frac{٤ \times \pi}{٩ \times \pi} = \frac{٤}{٩}$$

مثال (١ - ٦)

اختيرت نقطة عشوائيا على القطعة المستقيمة ا = { س : ١٠ ≤ س ≤ ٠ }
ما احتمال وقوع النقطة في القطعة المستقيمة ب = { س : ٨ ≤ س ≤ ٢ }
الحل :

$$\text{الاحتمال المطلوب} = \frac{\text{طول القطعة ب}}{\text{طول القطعة ا}} = \frac{٦}{١٠} = ٠,٦$$

اصطلاحات وتعاریف :

(١) الرمز ل (ا) يعنى احتمال وقوع الحدث ا ، ويلاحظ أن

$$٠ \leqslant ل (ا) \leqslant ١$$

وحين ل (ا) = ٠ نقول إن الحدث ا هو حدث مستحيل ،

وحين ل (ا) = ١ نقول إن الحدث ا هو حدث مؤكد .

(٢) الرمز ل (ا ، ا٠ أو ا١)

يعنى احتمال وقوع واحد على الأقل من الحدثين ا٠ ، ا١ أى وقوع ا٠ فقط أو ا١ فقط أو ا٠ ، ا١ معا .

(٣) الرمز ل (ا٠ و ا١)

يعنى احتمال وقوع الحدثين ا٠ ، ا١ معا أو بالتتابع .

(٤) الرمز ل (ا٠ | ا١)

يعنى احتمال وقوع الحدث ا٠ بشرط أن يكون الحدث ا١ قد وقع فعلا ويسمى هذا الاحتمال بالاحتمال الشرطى للحدث ا٠ بالنسبة للحدث ا١ .

مثال ذلك احتمال اختيار طالب من مدرسة ما بشرط أن يكون من الرياضيين .

(٥) يقال للحدثين ا٠ ، ا١ إنهما متنافيان إذا كان وقوع أحدهما يمنع وقوع الآخر وبذلك لا يمكن أن يقع الحدثان معا ، أى يكون ل (ا٠ و ا١) = ٠ فمثلا فى حالة ولادة طفل يكون الحدث « المولود ذكر » والحدث « المولود أنثى » حدثين متنافيين (لا يمكن أن يقعا معا) .

(٦) يقال للحدثين ا٠ ، ا١ إنهما مستقلان إذا كان احتمال وقوع أيهما لا يتأثر بوقوع أو عدم وقوع الآخر ، أى إذا كان :

$$L(A|B) = L(A), \quad L(A|A) = L(A) = L(A)$$

فمثلاً إذا ألقينا قطعتين من العملة عشوائياً فإن ما يظهر على أى منهما (صورة أو كتابة) يكون مستقلاً عما يظهر على الأخرى (إلا إذا كانت القطعتان مربوطتين معا بخيط مثلاً) . كذلك اختيار طالب من كلية العلوم واختيار طالب من كلية الإنسانيات هما حدثان مستقلان .

توافقات الاحتمال :

القاعدتان الآتيتان تسهلان حساب الاحتمالات في كثير من الحالات ويمكن إثباتهما رياضياً :

أولاً - قاعدة الجمع :

$$L(A \text{ أو } B) = L(A) + L(B) - L(A \text{ و } B)$$

أى أن احتمال وقوع أحد الحدثين A ، B أو كلاهما يساوى احتمال وقوع الأول + احتمال وقوع الثانى - احتمال وقوعهما معا .
حالة خاصة :

إذا كان الحدثان A ، B متنافيين فإنه حسب التعريف (٥) تصبح قاعدة الجمع كالآتى :

$$L(A \text{ أو } B) = L(A) + L(B)$$

وتسمى هذه القاعدة بقاعدة الجمع للأحداث المتنافية ، ويمكن تعميمها كالآتى :

إذا كانت A ، B ، ... ، أن أحداثاً متنافية فإن :

$$L(A \text{ أو } B \text{ أو } \dots \text{ أو } N) = L(A) + L(B) + \dots + L(N)$$

مثال (١ - ٧)

في مجموعة من ١٠٠ طالب رسب ١٢ في الرياضيات ورسب ١٥ في الفيزياء ورسب ٨ في كلتا المادتين . إذا اختير طالب واحد عشوائيا من هذه المجموعة فما احتمال أن يكون راسبا في الرياضيات أو في الفيزياء ؟
الحل :

نلاحظ أن الرسوب في أى مادة لا يمنع الرسوب في المادة الأخرى ، أى أن الحدثين غير متنافيين وحسب قاعدة الجمع نجد أن :
ل (راسب في الرياضيات أو راسب في الفيزياء) = ٠,١٢ + ٠,١٥ - ٠,٠٨ = ٠,١٩

مثال (١ - ٨) :

ألقي حجر نرد منتظم عشوائيا مرة واحدة . نجد أن :
(١) احتمال ظهور ٥ أو ٦ = ل (٥ أو ٦)
ل (٥) + ل (٦) = (حدثان متنافيان)
 $\frac{1}{6} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} =$
(ب) احتمال ظهور عدد فردي = ل (١ أو ٣ أو ٥)
 $\frac{1}{2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} =$ (٣ أحداث متنافية)

نتيجة :

إذا كانت ١ ، ٢ ، ... ، ان هي جميع الأحداث الممكنة في تجربة ما وكانت هذه الأحداث متنافية فإن مجموع احتمالات هذه الأحداث يساوى الواحد الصحيح ، أى أن :

$$ل (١) + ل (٢) + ... + ل (ان) = ١$$

لاحظ تحقق هذه النتيجة في المثال (١ - ٤) السابق .

ثانيا - قاعدة الضرب :

$$\begin{aligned} & \text{ل (أ، ب)} = \text{ل (أ)} \cdot \text{ل (ب | أ)} , \text{ل (أ | ب)} \neq \text{ل (أ)} \\ & \text{أو} = \text{ل (ب)} \cdot \text{ل (أ | ب)} , \text{ل (أ | ب)} \neq \text{ل (ب)} \end{aligned}$$

أى أن احتمال وقوع حدثين معا يساوى احتمال أحدهما مضروباً فى الاحتمال الشرطى للآخر بالنسبة للأول .

حالة خاصة :

إذا كان الحدثان أ ، ب مستقلين فإنه حسب (٦) تصبح القاعدة كالآتى :

$$\text{ل (أ، ب)} = \text{ل (أ)} \cdot \text{ل (ب)}$$

وتسمى هذه النتيجة بقاعدة الضرب للأحداث المستقلة ، ويمكن تعميمها كالآتى :

إذا كانت أ ، ب ، ... ، أن أحداثاً مستقلة فإن :

$$\text{ل (أ، ب، و ... وأن)} = \text{ل (أ)} \cdot \text{ل (ب)} \cdot \text{ل (و ... وأن)}$$

مثال (٩ - ٩) :

رمى حجراً نرد منتظماً ومتميزاً عشوائياً مرة واحدة . نجد أن :

(أ) احتمال ظهور ٥ على القطعة الأولى و ٦ على القطعة الثانية

$$\text{ل (٥ و ٦)} = \frac{1}{36} = \frac{1}{6} \times \frac{1}{6}$$

(حدثان مستقلان)

(ب) احتمال ظهور ٦ على القطعة الأولى و ٥ على القطعة الثانية

$$\text{ل (٦ و ٥)} = \frac{1}{36} = \frac{1}{6} \times \frac{1}{6}$$

(حدثان مستقلان)

(ج) احتمال ظهور ٥ على إحدى القطعتين و ٦ على القطعة الأخرى

$$\text{ل (٦ و ٥)} + \text{ل (٥ و ٦)} =$$

(حدثان متنافيان)

$$\frac{1}{18} = \frac{1}{36} + \frac{1}{36} =$$

مثال (١ - ١٠) :

ثلاث مجموعات من الأطفال تتألف الأولى من (٣ بنات ، ولد واحد)
وتتألف الثانية من (بنتين ، ولدين) وتتألف الثالثة من (بنت واحدة ، ٣
أولاد) . اختير طفل واحد عشوائياً من كل مجموعة . ما احتمال أن يكون الثلاثة
الأطفال المختارون عبارة عن بنت واحدة وولدين ؟

الحل :

يقع الحدث المطلوب بإحدى الطرق الثلاث الآتية :

(بنت - ولد - ولد) أو (ولد - بنت - ولد) - أو (ولد - ولد - بنت)
احتمال الطريقة الأولى $\frac{1}{32} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ (أحداث مستقلة)

احتمال الطريقة الثانية $\frac{2}{32} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ (أحداث مستقلة)

احتمال الطريقة الثالثة $\frac{1}{32} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ (أحداث مستقلة)

وبما أن هذه الطرق الثلاثة متنافية فإن احتمال أن يكون الأطفال المختارون عبارة
عن بنت واحدة وولدين هو مجموع احتمالات هذه الطرق ، أى :

$$\frac{12}{32} = \frac{1}{32} + \frac{2}{32} + \frac{9}{32}$$

مثال (١ - ١١)

صندوق به ٧ كرات حمراء و ٣ كرات بيضاء . سحب كرتان عشوائياً
الواحدة بعد الأخرى دون إرجاع . احسب احتمالات الأحداث الآتية :
(أ) أن تكون كلا الكرتين حمراء . (ب) أن تكون كلا الكرتين بيضاء .
(ج) أن تكون إحدى الكرتين حمراء والأخرى بيضاء .

الحل :

(أ) احتمال أن تكون الكرة الأولى حمراء $= \frac{7}{12}$

احتمال أن تكون الكرة الثانية حمراء $= \frac{6}{11} = \frac{2}{3}$

(هذا احتمال شرطى مع ملاحظة أنه بعد السحبة الأولى يبقى في الصندوق ٩ كرات منها ٦ حمراء) .

احتمال أن تكون كلا الكرتين حمراء $= \frac{7}{12} \times \frac{2}{3} = \frac{7}{18}$

وذلك باستخدام قاعدة الضرب وملاحظة أن الاحتمال $\frac{2}{3}$ هو احتمال شرطى فهو احتمال ظهور كرة حمراء في السحبة الثانية بشرط أن تكون السحبة الأولى حمراء .
(ب) بنفس المنطق نجد أن :

احتمال أن تكون كلا الكرتين بيضاء $= \frac{5}{12} \times \frac{4}{11} = \frac{2}{3}$

(ج) احتمال أن تكون الكرة الأولى حمراء والثانية بيضاء $= \frac{7}{12} \times \frac{5}{11} = \frac{35}{132}$

واحتمال أن تكون الكرة الأولى بيضاء والثانية حمراء $= \frac{5}{12} \times \frac{6}{11} = \frac{5}{22}$

احتمال أن تكون إحدى الكرتين حمراء والأخرى بيضاء $= \frac{35}{132} + \frac{5}{22} = \frac{50}{132} = \frac{25}{66}$

(حدثان متنافيان)

(١ - ٨) النماذج الرياضية : MATHEMATICAL MODELS

النموذج لظاهرة ما هو وسيلة لبيان الهيكل العام لتركيب هذه الظاهرة أو للتعبير عن نظرية أو وضع يؤخذ كمولد لما نلمسه من مشاهدات عن هذه الظاهرة . وفي التحليل الإحصائي عادة ما توضع النماذج في صورة رياضية وإن كان هناك صور أخرى بيانية كالخرائط الهندسية والجغرافية والجيولوجية .

والمودج الرياضي هو تجريد لمودج فيزيائي حيث تحل محل الأشياء والقوى والأحداث رموز تعبر عن متغيرات وبارامترات وثوابت . ويمكن تقسيم المودج الرياضية إلى ثلاثة أنواع هي : المودج التحديدية - المودج الإحصائية - نماذج العمليات العشوائية .

(أ) المودج التحديدية : DETERMINISTIC MODELS

هي تلك المودج الرياضية المعتادة التي تستخدم في مختلف المجالات العلمية والتي تعبر عن العلاقة الدالية بين المتغيرات على هيئة قوانين أو معادلات جبرية أو تفاضلية أو تكاملية أو مصفوفية يمكن اشتقاقها نظرياً دون اللجوء إلى التجريب ، كقوانين نيوتن للحركة .

غير أنه عند التحقق من صحة هذه القوانين تجريبياً نتعرض إلى عدة مصادر للخطأ منها الخطأ في القياس measurement error ومنها خطأ المعادلة equation error أى خطأ استخدام معادلة غير مناسبة ، ومنها الأخطاء العشوائية السابق الإشارة إليها في البند (١ - ٤) . إن هذه الأخطاء لا تدخل في اعتبار المودج التحديدي ويتطلب تقييمها تحويل هذا المودج إلى نموذج إحصائي .

(ب) المودج الإحصائية : STATISTICAL MODELS

المودج الإحصائي هو تعبير رياضي يشتمل على واحد أو أكثر من المركبات العشوائية بالإضافة إلى المتغيرات والبارامترات والثوابت التي يشتمل عليها المودج التحديدي . ويمكن اشتقاق نموذج إحصائي من نموذج تحديدي بإضافة صريحة للمركبات العشوائية . فمثلا القانون الشهير الذي يربط المسافة s والزمن t لجسيم يسير بسرعة ابتدائية u وعجلة منتظمة a يأخذ الصورة :

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

وهذا نموذج تحديدي . إذا أجرينا تجربة عدة مرات وكانت s ترمز إلى

المسافة المقطوعة في التجربة الرائية ، نستطيع أن ندخل العامل العشوائي صراحة كالاتي (على أساس أن ع ، ن ، ح ثوابت) :

$$ف_r = ع_r + \frac{1}{4} ح_r + \frac{1}{4} ن_r + خ_r$$

$$أوف_r = ف_r + خ_r$$

حيث ف هي القيمة الحقيقية للمسافة كما تحسب من النموذج التحديدي ، خ_r هي انحراف المسافة الناتجة في التجربة الرائية عن المسافة الحقيقية ف .

وسنلقى أمثلة كثيرة للنماذج الإحصائية خاصة عند دراسة تحليل التباين وتحليل الانحدار .

على أنه ليس من الضروري أن يعبر النموذج الإحصائي عن نموذج فيزيائي بالوضوح الظاهر في القانون السابق بل يمكن اختيار نموذج إحصائي مناسب اعتماداً على ما نتصوره من مصادر تؤثر فيما نشاهده من الاختلافات في البيانات الناتجة عن الظواهر التي ندرسها .

(ج) نماذج العمليات العشوائية : STOCHASTIC PROCESS MODELS

هذا النوع من النماذج قد يشتمل على عوامل عشوائية مماثلة لتلك التي في النماذج الإحصائية ولكنه بالإضافة إلى ذلك يشتمل على عملية عشوائية معينة تدخل في بناء النموذج وتصف الظاهرة على أساس احتمالي وليس على أساس تحديدي . ومن هذه النماذج النموذج II الذي سنقدمه في فصل تحليل التباين بالبند (٨ - ١٤) .

تأرين (١)

١ - الآتى بيان الأعمار بالسنوات للأطفال الذين ذهبوا إلى إحدى المستشفيات للعلاج في أحد الأيام وعددهم ٢٤٠ .

(أ) أعط هذه الأعمار أرقاماً متسلسلة من ٠٠١ إلى ٢٤٠

(ب) استخدم جدول الأعداد العشوائية لاستخراج عينة عشوائية حجمها ٣٠ (اذكر رقم العمود ورقم الصف اللذين بدأت بهما) .

(ج) أوجد الوسط الحسابي لأعمار أفراد هذه العينة .

(د) كرر الخطوتين (ب) ، (ج) عدة مرات وقارن بين الأوساط الحسابية للعينات الناتجة وبين الوسط الحسابي لأعمار الأطفال جميعاً .

٢	٨	١٠	٣	١٠	٧
٥	١٢	١٣	٧	١٤	٥
٥	٢	١١	٦	١١	٧
٥	١	٥	٢	٢	٦
٩	٢	٣	٤	٥	١٣
٤	٤	١	١	٣	٢
١٣	١	١٥	٦	١	٢
٨	٥	٢	٦	٥	٥
٥	١٠	١٤	٩	٢	٨
١٤	٧	٦	١٤	٣	٤
٥	٨	٢	١	٨	٣
١	١	٤	٢	١	٤
١٣	١٥	١	١	٢	٩
٨	٥	٣	٤	٥	٣
١٤	٣	٧	١١	٦	٢

1	3	8	10	9	11
3	7	1	1	1	8
10	8	1	0	0	2
7	1	2	9	12	1
2	12	0	6	10	2
2	2	11	1	2	10
11	10	0	7	9	7
7	2	2	2	10	1
2	0	2	1	2	13
12	10	13	3	1	10
3	2	9	2	3	7
1	2	0	7	8	2
7	12	13	3	11	1
0	9	3	11	1	12
10	1	0	2	2	10
2	12	9	3	7	3
9	10	1	9	13	12
2	0	12	0	1	0
13	12	3	7	7	12
3	2	3	1	3	3
7	10	8	12	9	2
2	0	0	9	2	9
7	1	2	3	2	2
12	0	12	1	1	1
3	12	7	7	10	8

٢ - قَرَب الأعداد الآتية إلى درجة الدقة المشار إليها .
 ٦٥,٤ إلى أقرب وحدة ، ٠,٠٦٣٥ إلى أقرب جزء من ألف
 ١٤٤,٥ إلى أقرب وحدة ، ٢,٥٠٠١ إلى أقرب وحدة
 ٣,٥٤٢ إلى أقرب جزء من مائة ، ٢٤,٦٢ إلى رقمين معنويين .

٣ - اجمع الأعداد ٨,٣٤ ، ٦,١٢ ، ٧,٥٤ ، ٦,٥٦ ، ٦,٤٧ ، ٧,٢٨ ،
 ٧,١٧

(أ) مباشرة (ب) بعد تقريب كل منها إلى جزء من عشرة .

٤ - صندوق به ٦ كرات حمراء و٤ كرات صفراء . سحبنا منه عشوائياً كرتين
 الواحدة بعد الأخرى دون إعادة .

- (أ) احسب احتمال أن تكون كلا الكرتين حمراء .
 (ب) احسب احتمال أن تكون كلا الكرتين صفراء .
 (جـ) احسب احتمال أن تكون واحدة حمراء وواحدة صفراء .

٥ - مجموعتان من الأطفال تتألف الأولى من (٣ بنات ، ولدين) وتتألف الثانية
 من (بنتين ، ٣ أولاد) . اختير طفل واحد عشوائياً من كل مجموعة . ما
 احتمال أن يكون الطفلان المختاران عبارة عن بنت واحدة وولد واحد ؟ .

الفصل الثانى

التوزيعات التكرارية

FREQUENCY DISTRIBUTIONS

إن البيانات التي نحصل عليها من عينة ما عن متغير ما تكون عبارة عن عدد من القيم أو القراءات مسجلة كيفما اتفق ، ولذلك تسمى عادة بالبيانات الخام raw data . وأول ما نفعله بهذه البيانات هو تنظيمها وتلخيصها في صورة مركزة عادة ما تكون على هيئة توزيعات تكرارية . موضوعة في جداول مناسبة ، وكثيراً ما نقوم بتمثيلها بيانياً . إن هذا التنظيم يجعل البيانات أكثر طواعية للدراسة والتحليل وقد يكشف عن بعض الصفات البارزة أو الخصائص العامة التي لا تظهر في القراءات قبل تنظيمها . ولا مفر لأى دارس للإحصاء من أن يكون على دراية بأمور أساسية ثلاثة هي :

(أ) كيفية إنشاء الجداول التكرارية .

(ب) كيفية تمثيل التوزيعات بيانياً .

(ج) كيفية وصف التوزيعات وصفاً موضوعياً .

وهذا ما نتناوله هنا بالتلخيص المركز عن طريق الأمثلة ، على أساس أن القارئ سبق له دراستها .

FREQUENCY TABLES

(٢ - ١) الجداول التكرارية :

(٢ - ١ - ١) جدول التوزيع التكرارى البسيط :

مثال (٢ - ١) :

الأعداد الآتية تعبر عن النسب المئوية للكاربون الذى وجد في عينة عشوائية حجمها ٢٥ في نوع من الفحم .

٨٠ ٨١ ٨٦ ٨٧ ٨٥ ٨٦ ٧٨ ٨٢ ٧٩ ٧٩ ٨٢ ٧٧ ٨٤ ٨٦
٨٣ ٨٥ ٨٤ ٨٦ ٨٥ ٧٨ ٨٢ ٧٩ ٧٩ ٨٢ ٧٧ ٨٧ ٨٤ ٨٦
كون الجدول التكرارى البسيط وجدول التكرارات المتجمعة المثوية .

الحل :

ننشئ جدولاً كالجدول (٢ - ١) التالى حيث يشتمل العمود الأول منه على القيم المختلفة للمتغير مرتبة ترتيباً تصاعدياً (أو تنازلياً) ويشتمل العمود الثانى منه على عدد من الشرط أمام كل قيمة بالعمود الأول تحصى عدد مرات وجود هذه القيمة بالبيانات الخام . أما العمودان الثالث والرابع فأمرهما واضح وكذلك بالنسبة للجدول (٢ - ٢) .

الجدول (٢ - ٢)
التكرارات المتجمعة والمتجمعة المثوية

الحدود العليا	التكرار المتجمع	التكرار المتجمع %
٧٧ >	٢	٨
٧٨ >	٣	١٢
٧٩ >	٥	٢٠
٨٠ >	٧	٢٨
٨١ >	٨	٣٢
٨٢ >	١٠	٤٠
٨٣ >	١٢	٤٨
٨٤ >	١٤	٥٦
٨٥ >	١٧	٦٨
٨٦ >	٢٢	٨٨
٨٧ >	٢٥	١٠٠

الجدول (٢ - ١)
التكرارات والتكرارات النسبية
للنسب المثوية للكاريون في حبة من القمح

س.ر	الشرط	له	ح.ر
٧٧	//	٢	٠,٠٨
٧٨	/	١	٠,٠٤
٧٩	//	٢	٠,٠٨
٨٠	//	٢	٠,٠٨
٨١	/	١	٠,٠٤
٨٢	//	٢	٠,٠٨
٨٣	//	٢	٠,٠٨
٨٤	//	٢	٠,٠٨
٨٥	///	٣	٠,١٢
٨٦	///	٥	٠,٢٠
٨٧	///	٣	٠,١٢
المجموع		٢٥	١,٠٠

ملاحظات :

- (١) س ر ترمز إلى القيم المختلفة للمتغير .
 (٢) ك ر ترمز إلى تكرار القيمة س ر أى إلى عدد مرات وجود هذه القيمة بالبيانات الخام .

(٣) ح ترمز إلى التكرار النسبي للقيمة س ر أى خارج بقسمة العدد ك ر على حجم التوزيع وهو هنا ٢٥ . وهذه التكرارات النسبية تؤخذ كتقديرات للاحتمالات تحت شروط معينة منها عشوائية العينة وكبر حجمها .

(٤) تسمى مجموعة الأزواج المرتبة

$$\{ (٣, ٨٧) , (١, ٧٨) , (٢, ٧٧) , (٣, ٨٧) \}$$

بالتوزيع التكرارى للمتغير س في العينة ، وهذه المجموعة تشكل العمودين الأول والثالث من الجدول (٢ - ١) .

(٢ - ١ - ٢) جدول التوزيع التكرارى المجمع في فئات :

حين تشتمل البيانات على عدد كبير من قيم متغير عددي ، يفضل تجميع هذه القيم في فئات فتوضع كل مجموعة من القيم المتقاربة في فئة خاصة ، ويراعى هنا ألا يكون عدد هذه الفئات كبيراً فتنتفي الحكمة أو الفائدة من عملية التجميع ، وألا يكون عددها صغيراً فتضيع معالم التوزيع ويفقد الكثير من تفاصيله .

مثال (٢ - ٢) :

قيست أطوال محيطات الرؤوس بالمليمترات لعينة حجمها ٤٠ من الحمام المنزلى فوجدت كما يلي :

١١,٦ ١١,٨ ١١,٨ ١٢,٢ ١٢,٣ ١١,١ ١١,٩ ١١,٨ ١٢,٩ ١٢,٢
 ١١,١ ١٠,٥ ١١,٢ ١٣,٣ ١١,٩ ١١,٦ ١١,٢ ١١,٣ ١١,٥ ١٠,٧
 ١١,٦ ١٠,٩ ١٠,٢ ١١,٩ ١١,٠ ١٠,٨ ١٠,٧ ١٠,٤ ١١,٩ ١٢,١
 ١١,١ ١١,٣ ١١,٨ ١١,٧ ١٢,٤ ١٢,٠ ١٠,٧ ١٠,٤ ١١,٦ ١٠,٨

جمع هذه البيانات في توزيع تكرارى ذى فئات وأوجد توزيع التكرارات المتجمعة النسبية المثوبة .

الحل :

المدى = أكبر قيمة للمتغير - أصغر قيمة للمتغير

$$٣,١ = ١٠,٢ - ١٣,٣ =$$

إذا رأينا أن نأخذ حوالى ١٠ فئات يكون طول كل فئة $١٠ \div ٣,١ = ٠,٣٠$ تقريباً .

وعلى أساس أن الأطوال قيست لأقرب جزء من عشرة من المليمتر سنعتبر أنه إذا كان س هو العدد الذى سجلناه لطول محيط رأس حمامة فإن الطول الحقيقي لهذا الرأس يقع بين العددين س $\pm ٠,٠٥$ فمثلاً أصغر عدد مسجل هو ١٠,٢ وإذا الطول الحقيقي لمحيط رأس أصغر حمامة في العينة يقع بين العددين $١٠,٢ \pm ٠,٠٥$ أى بين العددين ١٠,١٥ ، ١٠,٢٥ .

نأخذ العدد ١٠,١٥ كحد أدنى للفئة الأولى . وحيث أننا اخترنا أن يكون طول الفئة ٠,٣٠ فإن الحد الأعلى لهذه الفئة يكون $١٠,١٥ + ٠,٣٠ = ١٠,٤٥$ ويكون هذا العدد نفسه هو الحد الأدنى للفئة الثانية التي ينبغى أن يكون حدها الأعلى $١٠,٤٥ + ٠,٣٠ = ١٠,٧٥$ ونستمر في إنشاء الفئات التالية بنفس الطريقة حتي نصل إلى فئة تغطي أكبر عدد في البيانات المعطاة وهو ١٣,٣ — انظر العمود الأول من الجدول (٢ - ٣) الآتي . ويلاحظ أن هذا الأسلوب في تكوين الفئات للقياسات المقربة يسمح بأن يكون لكل عدد في البيانات المعطاة مكان وحيد في إحدى هذه الفئات . وبالنسبة للملأ العمود الثالث تمر على الأعداد المعطاة واحداً واحداً ونضع شرطة أمام الفئة التي يدخل فيها .

الجدول (٢ - ٣)
التكرارات والتكرارات النسبية لمخططات الرؤوس
بالمليمترات لعينة الحمام المنزل

الفئات	س ر	الشرط	ك ر	ح ر
١٠,٤٥-١٠,١٥	١٠,٣	///	٣	٠,٠٧٥
١٠,٧٥-١٠,٤٥	١٠,٦	////	٤	٠,١١٠
١١,٠٥-١٠,٧٥	١٠,٩	////	٤	٠,١٠٠
١١,٣٥-١١,٠٥	١١,٢	//###	٧	٠,١٧٥
١١,٦٥-١١,٣٥	١١,٥	++++	٥	٠,١٢٥
١١,٩٥-١١,٦٥	١١,٨	////###	٩	٠,٢٢٥
١٢,٢٥-١١,٩٥	١٢,١	////	٤	٠,١٠٠
١٢,٥٥-١٢,٢٥	١٢,٤	//	٢	٠,٠٥٠
١٢,٨٥-١٢,٥٥	١٢,٧	-	٠	٠,١٠٠
١٣,١٥-١٢,٨٥	١٣,٠	- /	١	٠,٠٢٥
١٣,٤٥-١٣,١٥	١٣,٣	- /	١	٠,٠٢٥
المجموع			٤٠	١,٠٠

الجدول (٢ - ٤)

التكرارات المتجمعة

والمجموعة المفتوحة

الحدود العليا	التكرار المتجمع	التكرار التجمع %
$10,45 \geq$	٣	٧,٥
$10,75 \geq$	٧	١٧,٥
$11,05 \geq$	١١	٢٧,٥
$11,35 \geq$	١٨	٤٥,٥
$11,65 \geq$	٢٣	٥٧,٥
$11,95 \geq$	٣٢	٨٠,٠
$12,25 \geq$	٣٦	٩٠,٠
$12,55 \geq$	٣٨	٩٥,٠
$12,85 \geq$	٣٨	٩٥,٠
$13,15 \geq$	٣٩	٩٧,٥
$13,45 \geq$	٤٠	١٠٠,٠

ملاحظات :

١ - س , ترمز إلى مركز الفئة class mark وهو الوسط الحسابي لحدى الفئة ،
فمثلا مركز الفئة الأولى هو $\frac{1}{2} (10,45 + 10,15) = 10,3$.

ويؤخذ مركز الفئة ممثلا لها بمعنى أننا نعتبر أن جميع القيم التي دخلت الفئة مساوية لهذا المركز ، فمثلا تضم الفئة الأولى (١٠,٤٥ - ١٠,١٥) ثلاثة من الأعداد المعطاة هي ١٠,٤ ، ١٠,٢ ، ١٠,٤ غير أننا في عملية التجميع نلغي هذه الأعداد ونعتبر أن بهذه الفئة ثلاثة أعداد كل منها يساوى مركز الفئة وهو ١٠,٣ .

كذلك تضم الفئة الثانية أربعة أعداد هي ١٠,٧ ، ١٠,٥ ، ١٠,٧ ، ١٠,٧ غير أننا نعتبر أن هذه الفئة أربعة أعداد كل منها يساوى مركز الفئة وهو ١٠,٦ . وفي اعتبارنا هذا شيء من التجاوز يسمى بخطأ التجميع ، إلا أن هذه الأخطاء عادة ما يلغى بعضها البعض لأن بعضها بالزيادة والبعض الآخر بالنقصان ، ولاسيما إذا كان حجم التوزيع كبيراً .

٢ - في تكوين الفئات في هذا المثال راعينا أن المتغير هو متغير عددي من النوع المتصل وأن القياس كان إلى أقرب جزء من عشرة من المليمتر . أما إذا اعتبرنا أن القياس مضبوط فيمكن أن نضع الفئات كالآتي :

١٠,٢ - لتعني الفئة التي تشمل الأعداد بدءاً من ١٠,٢ إلى أقل من ١٠,٥
 ١٠,٥ - لتعني الفئة التي تشمل الأعداد بدءاً من ١٠,٥ إلى أقل من ١٠,٨
 ١٠,٨ - لتعني الفئة التي تشمل الأعداد بدءاً من ١٠,٨ إلى أقل من ١١,١
 وهكذا

وتستخدم هذه الطريقة أيضاً حين يكون المتغير من النوع الوثناب . ولبيان أن هذه الطريقة لا تصلح في الحالة التي تكون فيها البيانات مسجلة بمقياس تقريبي ، اعتبر الحمامة التي سجل طولها على أنه ١٠,٥ ملليمتر (تقريباً) . نعلم أن الطول الحقيقي لهذه الحمامة يقع بين العددين ١٠,٤٥ ، ١٠,٥٥ وعلى ذلك فإن الطول الحقيقي قد يكون أصغر من الطول المسجل ١٠,٥ ، مثلاً ١٠,٤٨ ، وفي هذه الحالة ينبغي وضعه في الفئة ١٠,٢ - أو قد يكون أكبر من ١٠,٥ ، مثلاً ١٠,٥٤ ، وفي هذه الحالة ينبغي وضعه في الفئة ١٠,٥ - وما دما لا نعرف الطول الحقيقي لهذه الحمامة فإننا نكون في حيرة من استخدام أى من هاتين الفئتين . ونقع في هذه الحيرة أيضاً في تناول كثير من الأطوال الأخرى مثل ١٠,٨ ، ١١,١ ، ١١,٤ ، ٠٠٠ ومن هذا نرى أن هذه الطريقة لا تضمن أن يكون لكل قيمة (من القيم المقربة) مكان في واحدة وواحدة فقط من الفئات .

(٢ - ١ - ٣) الجدول التكرارى المزدوج (أو جدول الاقتران) :

كل من المثالين السابقين يتناول توزيعاً تكرارياً لمتغير واحد ، وفيما على مثالان يتناول كل منهما التوزيع التكرارى المشترك لمتغيرين . joint distribution

مثال (٢ - ٣) :

الجدول (٢ - ٥) الآتي يعطى التكرارات المشاهدة لطول محيط الرأس وطول الطفل ساعة الولادة في عينة من ٩٩ مولوداً .

الجدول (٢ - ٥)

محيط الرأس	طول الجسم			المجموع
	٤٧ -	٥٠ -	٥٣ -	
٣٢ -	٤٠	٣٦	٢	٧٨
٣٦ -	صفر	١٤	٧	٢١
المجموع	٤٠	٥٠	٩	٩٩

لدينا متغيران هما (١) طول محيط الرأس وقد قسمت الأطوال إلى فئتين (٢) طول الجسم وقد قسمت الأطوال إلى ثلاث فئات ، ولهذا يسمى مثل هذا الجدول بجدول اقتران 3×2 contingency table لأن المتغيرين يقترنان فيه في توزيع مشترك .

من هذا الجدول نستطيع استخراج الجدولين (٢ - ٦) ، (٢ - ٧) الآتيين :

الجدول (٢ - ٧)
التوزيع الهامشي لطول الطفل

ك ر	طول الجسم
٤٠	- ٤٧
٥٠	- ٥٠
٩	- ٥٣
٩٩	المجموع

الجدول (٢ - ٦)
التوزيع الهامشي لطول محيط الرأس

ك ر	محيط الرأس
٧٨	- ٣٢
٢١	- ٣٦
٩٩	المجموع

يعطى الجدول (٢ - ٦) ما يسمى بالتوزيع الهامشي للمتغير الأول (طول محيط الرأس) وهو يعني التوزيع التكرارى لهذا المتغير بصرف النظر عن المتغير الثاني . وبالمثل يعطى الجدول (٢ - ٧) التوزيع الهامشي للمتغير الثاني (طول الجسم) .

مثال (٢ - ٤) :

في إحدى التجارب قسم ١٤٦٩ من الرجال في الأعمار ما بين ٦٠ ، ٦٤ عاماً من حيث عادة التدخين إلى قسمين : يدخن ولا يدخن . وبعد ٦ سنوات من بدء التجربة حسب عدد الوفيات للقسمين فنتج التوزيع التكرارى المزدوج المبين بالجدول (٢ - ٨) وهو يعطى التوزيع التكرارى المشترك لمتغيرين من النوع الوصفي هما الوفاة وعادة التدخين .

مثل هذا الجدول يسمى بجدول اقتران 2×2 لأن كلا من المتغيرين مقسم إلى قسمين . استخراج التوزيع الهامشي لكل من المتغيرين .

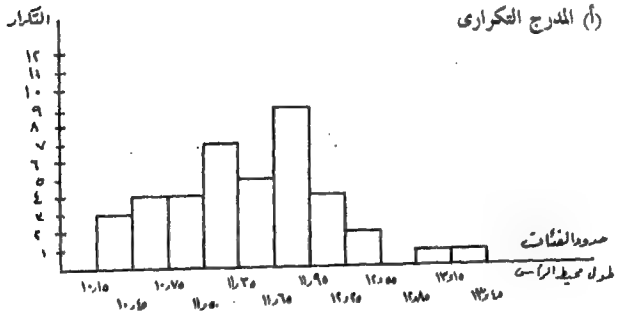
الجدول (٢ - ٨)

التوزيع المشترك لخاصتي الوفاة والتدخين لعينة من كبار السن

الوفاة	التدخين		المجموع
	يدخن	لا يدخن	
توفي	٥٤	١١٧	١٧١
حي	٣٤٨	٩٥٠	١٢٩٨
المجموع	٤٠٢	١٠٦٧	١٤٦٩

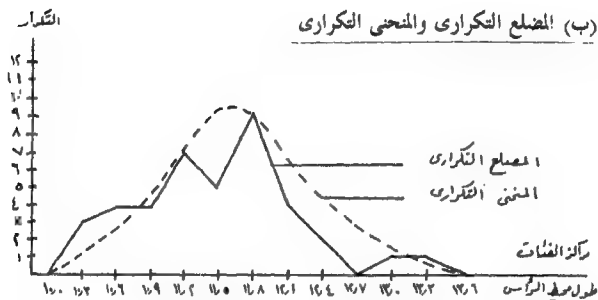
(٢ - ٢) التمثيل البياني للتوزيعات التكرارية :

المعتاد في تمثيل التوزيعات بيانيا لإنشاء محورين متعامدين في المستوى يجزأ كل منهما بمقياس رسم مناسب بحسب الصورة البيانية التي نرغب في تقديمها ، والأشكال الثلاثة الآتية تعرض أشهر هذه الصور وهي تمثل البيانات الواردة بالمثال (٢ - ٢) السابق .



الشكل (١ - ٢) المدرج التكراري لأطوال محيطات الرؤوس لعينة من ٤٠ من الحمام المنزلي

هذا الشكل يعطى ما يسمى بالمدرج التكرارى (هستوجرام) histogram وهو يؤخذ من العمودين الأول والرابع من الجدول (٢ - ٣) ويتألف من عدد من المستطيلات المتلاصقة قواعدها فئات التوزيع وارتفاعاتها تتناسب مع التكرارات المناظرة .



الشكل (٢ - ٣) المضلع التكرارى والمنحنى التكرارى لأطوال محيطات الرؤوس لعينة من ٤٠ من الحمام القزلى

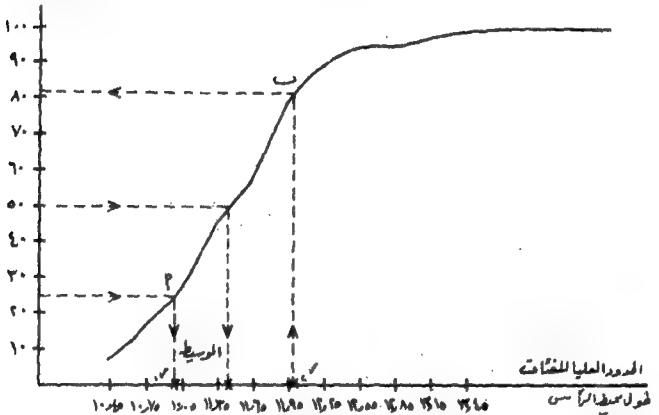
هذا الشكل يعطى ما يسمى بالمضلع التكرارى frequency polygon وهو يؤخذ من العمودين الثاني والرابع من الجدول (٢ - ٣) . يمثل المحور الأفقى مراكز الفئات ويمثل المحور الرأسى التكرارات وينتج المضلع من توصيل عدد من النقاط (١١ نقطة) لإحداثياتها الأفقية مراكز الفئات وإحداثياتها الرأسية التكرارات المناظرة ثم يغلَى المضلع من الطرفين وذلك بتصور وجود فئة إضافية في بداية التوزيع وفئة إضافية في آخره التكرار في كل منهما هو بطبيعة الحال صفر .

كما يعطى هذا الشكل ما يسمى بالمنحنى التكرارى frequency curve وهو منحنى ناعم يمهّد باليد ماراً ببعض هذه النقاط وقريباً من البعض الآخر ، أى ليس

من الضروري أن يمر بها جميعاً لأن الهدف من رسمه هو محاولة استكشاف الاتجاه العام لتوزيع المتغير في المجتمع الذي أخذت منه العينة ومن الواضح أن عملية التمهيد هذه تعتمد على ذاتية الراسم وتختلف من شخص إلى آخر ، وهي تجري على أساس أن التوزيع التكرارى الذى لدينا هو توزيع لعينة مأخوذة من مجتمع متصل ، وكلما كبر حجم العينة وصغرت أطوال الفئات كلما اقترب المضلع التكرارى من المنحنى التكرارى .

التكرار النسبى المجمع

(جم) منحنى التكرارات المتجمعة



الشكل (٢ - ٣) منحنى التكرارات المتجمعة المثوبة لأطوال عيشتات الرؤوس لعينة من الحمام المنزل .

هذا الشكل يعطى منحنى التكرارات المتجمعة المثوبة percentage cumulative frequency curve . وهو يؤخذ من العمودين الأول والثالث من الجدول (٢ - ٤) أى أن الإحداثيات الأفقية للنقط هى الحدود العليا للفئات والإحداثيات الرأسية هى التكرارات المتجمعة المثوبة المناظرة . وكان من الممكن أن نرسم المنحنى نفسه من

العمودين الأول والثاني إلا أن هذا يحتاج إلى التفكير في مقياس رسم مناسب لكل توزيع على حدة ، أما استخدام التكرارات المتجمعة المثوية فمن شأنه أن يكون تقسيم المحور الرأسي ثابت لأى توزيع .

ومن هذا المنحنى نستطيع الإجابة إجابة تقريبية عن نوعين من الأسئلة يتمثلان فيما يلى :

(أ) ما طول محيط رأس الحمامة الذى يقل عنه أو يساويه ٢٥٪ من أطوال محيطات رؤوس الحمام ؟

(ب) ما النسبة المثوية لعدد الحمام الذى تقل أو تساوى أطوال محيطات رؤوسها عن ١٢ ملليمتر ؟

وللإجابة عن السؤال الأول نرسم من النقطة التي تمثل التكرار المتجمع المثوى ٢٥٪ على المحور الرأسي خطا مستقيما يوازي المحور الأفقي ويقطع المنحنى في نقطة (أ) ثم نرسم من (أ) خطا مستقيما يوازي المحور الرأسي يلقي المحور الأفقي عند النقطة ١٠,٩٨ . وبعملية حسابية بسيطة نجد أن $10,98 = 1,8$ تقريبا فيكون الطول المطلوب هو ١٠,٩٨ ملليمتر تقريبا . أما الإجابة عن السؤال الثاني فتسير بعكس خطوات الإجابة عن السؤال الأول فنرسم من النقطة التي تمثل العدد ١٢ على المحور الأفقي مستقيما يوازي المحور الرأسي ويقطع المنحنى في نقطة ب ثم نرسم من ب مستقيما يوازي المحور الأفقي ليلقي المحور الرأسي عند النقطة ٨٢ تقريبا فتكون النسبة المطلوبة هي ٨٢٪ تقريبا .

ومن منحنى التكرارات المتجمعة المثوية نستطيع بنفس الطريقة أن نوجد تقريبا ما يسمى بالمئينات والربيعات وهى أعداد تستخدم في وصف التوزيعات كما سنرى بعد . وهى من المقاييس المسماة بمقاييس الموضع تميزها عن مقاييس المقدار التي سنقدمها في البند (٢ - ٤) .

إذا كان لدينا توزيع تكرارى لمتغير كمى رتبته قيمه تصاعديا فإن المئينات ١٢ ، ٢٢ ، ٣٢ ، ٤٢ ، ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠ ، ٨٠ ، ٩٠ ، ٩٩ لهذا التوزيع تعرف بأنها تلك الأعداد التي تقسمه إلى ١٠٠ قسم يشتمل كل منها على عدد متساوى من قيم المتغير أى على ١٪ من هذه القيم . وعلى ذلك فالمئين ١٢ هو العدد الذى يقل عنه أو يساويه ١٠٪ من قيم المتغير والمئين ٨٠ هو العدد الذى يقل عنه أو يساويه ٨٠٪ من قيم المتغير وهكذا .

وبالمثل الربيعات ١ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ للتوزيع تعرف بأنها تلك الأعداد التي تقسمه إلى أربعة أقسام يشتمل كل منها على ربع قيم المتغير . ويلاحظ أن :
الربيع الأول ١ = المئين ٢٥ = العدد الذى يقل عنه أو يساويه ٢٥٪ من قيم المتغير

= ١٠,٩٨ مليمترا تقريبا في هذا المثال .

الربيع الثاني ٢٥ = المئين ٥٠ = العدد الذى يقل عنه أو يساويه ٥٠٪ من قيم المتغير :

= ١١,٥ مليمترا تقريبا في هذا المثال .

ويسمى هذا المقياس أيضا بالوسيط لأنه يتوسط التوزيع ويقسمه إلى قسمين متساويين في عدد قيم المتغير .

الربيع الثالث ٥٠ = المئين ٧٥ = العدد الذى يقل عنه أو يساويه ٧٥٪ من قيم المتغير .

= ١١,٨٨ ملليمترا تقريبا في هذا المثال .

وفي المثال (٢ - ٢) حيث $n = ٤٠$ حماسة نجد أن الربيع الأول وهو ١٠,٩٨ يسبقه عشرة أعداد تقع قيمها من ١٠,٢ إلى ١٠,٩ ، كما نجد أن الوسيط وهو

١١,٥ يسبقه عشرون عددا تقع قيمها من ١٠,٢ إلى ١١,٥ ، ونجد أن الربيع الثالث وهو ١١,٨٨ يسبقه ثلاثون عددا تقع قيمها من ١٠,٢ إلى ١١,٨ .
ونستطيع إيجاد الكميّات والربيعات بطريقة حسّاسية وهى طريقة أكثر دقة نوضحها عن طريق التوزيع الذى بالمثل (٢ - ٣) والذى يمكن تلخيصه بالجدول (٢ - ٩) الآتى :

الجدول (٢ - ٩)

التوزيع التكرارى والتوزيع المتجمع لأطوال محطات الرؤوس بالمحطات لعبة من الحمام الفزلى

التكرار المتجمع	التكرار	الفئة
٣	٣	١٠,٤٥ - ١٠,١٥
٧	٤	١٠,٧٥ - ١٠,٤٥
١١	٤	١١,٠٥ - ١٠,٧٥
١٨	٧	١١,٣٥ - ١١,٠٥
٢٣	٥	١١,٦٥ - ١١,٣٥
٣٢	٩	١١,٩٥ - ١١,٦٥
٣٦	٤	١٢,٢٥ - ١١,٩٥
٣٨	٢	١٢,٥٥ - ١٢,٢٥
٣٨	٠	١٢,٨٥ - ١٢,٥٥
٣٩	١	١٣,١٥ - ١٢,٨٥
٤٠	١	١٣,٤٥ - ١٣,١٥

لايجاد الوسيط \bar{y} والريعين y_1, y_2, y_3 :

ترتيب الوسيط = $\frac{n}{2}$ (هذه قاعدة عامة لتوزيعات المتغيرات المتصلة)

$$20 = \frac{n}{2}$$

إذن الوسيط هو الطول الذى يقل عنه أو يساويه أطوالى ٢٠ حمامة .

نلاحظ من الجدول أن هناك ١٨ حمامة تقل أطوالها عن ١١,٣٥ مليمترا .

وأن هناك ٢٣ حمامة تقل أطوالها عن ١١,٦٥ مليمترا .

وعلى ذلك يجب أن يقع الوسيط في الفئة ١١,٣٥ - ١١,٦٥ وتسمى هذه الفئة حينئذ

بالفئة الوسيطة . إن هذه الفئة تشتمل على ٥ وحدات (حمامات) نريد أن نأخذ منها

اثنين فقط لنستكمل العدد المطلوب (من ١٨ حمامة إلى ٢٠ حمامة) وعلى فرض أن

الوحدات الخمسة موزعة بانتظام داخل الفئة بمعنى أنها تبعد عن بعضها بمسافات

متساوية فإن العدد ٢ يمثل طولاً قدره $\frac{2}{5}$ طول الفئة أى طولاً قدره $\frac{2}{5} \times 0,3 = 0,12$

٠,١٢ مم ولما كانت بداية الفئة ١١,٣٥ مم فإن :

$$\text{الوسيط} = \bar{y} = 11,35 + 0,12 = 11,47 \text{ مليمترا .}$$

وبصفة عامة نوجد الوسيط من الصيغة الآتية :

الوسيط = الحد الأدنى للفئة الوسيطة +

$$\frac{\text{ترتيب الوسيط} - \text{التكرار المتجمع للفئة السابقة للفئة الوسيطة}}{\text{تكرار الفئة الوسيطة}} \times \text{طول الفئة}$$

التكرار في الفئة الوسيطة

وبنفس المنطق السابق نوجد الريعين الأول والثالث بالصيغتين الآتيتين مع

ملاحظة أن ترتيب الريع الأول هو $\frac{n}{4}$ وترتيب الريع الثالث هو $\frac{3n}{4}$ وذلك

بالنسبة للتوزيعات التكرارية للمتغيرات المتصلة .

$$س_١ = \text{الحِد الأَدْنى لِفَعَّة الرِّبْع الأول} +$$

$$\text{ترتيب } س_١ - \frac{\text{التكرار المتجمع للفعّة السابقة لفعّة الربيع الأول} \times \text{طول الفعّة}}{\text{التكرار في فعّة الربيع الأول}}$$

$$س_٣ = \text{الحِد الأَدْنى لِفَعَّة الرِّبْع الثَّالث} +$$

$$\text{ترتيب } س_٣ - \frac{\text{التكرار المتجمع للفعّة السابقة لفعّة الربيع الثالث} \times \text{طول الفعّة}}{\text{التكرار في فعّة الربيع الثالث}}$$

في المثال (٢ - ٢) نجد ما يلي :

$$\text{ترتيب الربيع الأول} = \frac{١}{٤} = ٠,٢٥$$

$$س_١ = ١٠,٧٥ + \frac{٧-١}{٤} \times ٠,٣ = ٠,٢٢٥ + ١٠,٧٥ = ١٠,٩٧٥$$

$$= ١٠,٩٧٥ \text{ مليمترا .}$$

$$٦ \text{ ، ترتيب الربيع الثالث} = \frac{٣}{٤} = ٠,٧٥$$

$$س_٣ = ١١,٦٥ + \frac{٣-٣}{٤} \times ٠,٣ = ٠,٢٣٣ + ١١,٦٥ = ١١,٨٨٣$$

$$= ١١,٨٨٣ \text{ مليمترا .}$$

وتطبق هذه الصيغ أيضا في حالة التوزيعات التكرارية البسيطة وفي حالة التوزيعات غير التكرارية أى التي على صهوة مجموعة من القيم $س_١$ ، $س_٢$ ، ... ، $س_٦$ (تكرار كل منها الواحد الصحيح) ، بشرط أن يكون المتغير من النوع المتصل فتعتبر أى قيمة $س$ من قيم المتغير كأنها فترة تبدأ بنصف وحدة خطوة أسفل العدد $س$ وتنتهى بنصف وحدة خطوة أعلاه وبذلك يكون طول الفترة مساويا الواحد إذا كانت $س$ مقدرة بالوحدات الصحيحة ويساوى ٠,١ إذا كانت مقدرة إلى خانة عشرية واحدة ويساوى ٠,٠١ إذا كانت مقدرة إلى خانتين عشريتين وهكذا . ونوضح ذلك بأخذ المثال (٢ - ١) الذى نلخصه بالجدول (٢ - ١٠) الآتي :

الجدول (٢-١٠)

س	ك	س \geq
٧٧	٢	٢
٧٨	١	٣
٧٩	٢	٥
٨٠	٢	٧
٨١	١	٨
٨٢	٢	١٠
٨٣	٢	١٢
٨٤	٢	١٤
٨٥	٣	١٧
٨٦	٥	٢٢
٨٧	٣	٢٥

ترتيب الربيع الأول = $\frac{٢٥}{٤} = ٦,٢٥$

الربيع الأول يقع في الفئة التي تعبر عن العدد ٨٠ التي تمتد من ٧٩,٥ إلى ٨٠,٥ والتكرار فيها ٢

$$٨٠,١٢٥ = ١ \times \frac{٥-٦,٢٥}{٢} + ٧٩,٥ = ١,$$

$$١٢,٥ = \frac{٢٥}{٢} = \text{ترتيب الوسيط}$$

الوسيط يقع في الفئة التي تعبر عن العدد ٨٤ التي تمتد من ٨٣,٥ إلى ٨٤,٥ والتكرار فيها ٢

$$٨٣,٧٥ = ١ \times \frac{١٢-١٢,٥}{٢} + ٨٣,٥ = ٢,$$

$$١٨,٧٥ = \frac{٢٥ \times ٢}{٤} = \text{ترتيب الربيع الثالث}$$

$$٨٥,٨٥ = ١ \times \frac{١٧-١٨,٧٥}{٣} + ٨٥,٥ = ٣,$$

ملاحظة : لا تصلح هذه الطريقة ولا طريقة المنحني المتجمع في حالة توزيعات المتغيرات غير المتصلة (الوثابة) ، على أنه في حالة التوزيعات غير التكرارية من الواضح أن الوسيط هو القيمة التي تقع في وسط التوزيع إذا كان عدد قيم المتغير فردياً أو هو متوسط القيمتين الوسطيتين إذا كان عدد القيم زوجياً . فمثلاً للمجموعة .

٤ ٥ ٥ ٦ ٧ ٧ ٩ ١١ ١٢ ١٢ ١٤ ١٥ ١٥ ٤٠ ٥٠

التي عدد قيمها ١٥ يكون الوسيط هو العدد ١١ إذ أن هذا العدد يقسم المجموعة إلى قسمين متساويين في عدد القيم سبعة منها قبله وسبعة منها بعده .

أما بالنسبة للمجموعة

٤ ٥ ٥ ٦ ٧ ٧ ٩ ١١ ١٢ ١٢ ١٤ ١٥ ١٥ ٤٠

التي عدد قيمها ١٤ فيكون الوسيط هو العدد $11\frac{1}{2}$ ، إذ أنه يقسم المجموعة

إلى قسمين متساويين في عدد القيم سبعة منها قبله وسبعة منها بعده مع ملاحظة أن الوسيط هنا ليس أحد قيم المجموعة المعطاة .

بصفة عامة إذا رتب قائمة من الأعداد حجمها n لمتغير واثاب ترتيباً تصاعدياً فإن :

$$(أ) \text{ ترتيب الوسيط هو } \frac{1}{2} (n + 1)$$

ففي القائمة الأولى لدينا $n = 15$. ترتيب الوسيط ٨ وعلى ذلك فالوسيط هو العدد الثامن في القائمة أي العدد ١١ .

وفي القائمة الثانية لدينا $n = 14$. ترتيب الوسيط ٧,٥ وهذا العدد يعني أن الوسيط هو متوسط العددين السابع والثامن في القائمة أي العدد ١٠ .

(ب) يحسب ترتيب الربيع الأول من ترتيب الوسيط كالآتي :

$$\text{ترتيب } r_1 \text{ هو } \frac{1}{4} (n + 1) \text{ (ترتيب الوسيط بعد حذف الكسر إذا وجد } + 1) .$$

(ج) من التماثل يكون ترتيب الربيع الثالث هو نفس ترتيب الربيع الأول حين تقرأ قائمة الأعداد عكسيا من النهاية إلى البداية . .

ففي القائمة الأولى لدينا $n = 10$ ، ترتيب الوسيط هو ٨

$$\therefore \text{ترتيب } s_1 \text{ هو } \frac{1}{2}(1 + 8) = 4,5$$

وهذا يعنى أن الربيع الأول هو متوسط العددين الرابع والخامس في القائمة

أى أن

$$s_1 = \frac{1}{2}(7+6) = 6,5$$

من التماثل

$$s_2 = \frac{1}{2}(14+15) = 14,5$$

وفي المجموعة الثانية لدينا $n = 14$ ، ترتيب الوسيط هو ٧,٥

∴ ترتيب s_2 هو

$$\frac{1}{2}(1+7) = 4$$

∴

$$s_1 = 6$$

من التماثل

$$s_2 = 46$$

(٢ - ٤) الوصف العددي للتوزيعات التكرارية :

حين يكون لدينا توزيع لمتغير عددي وحين يكون لهذا التوزيع قمة واحدة

كما يبدو مثلا من المنحنى التكراري ، فإننا نستطيع وصفه موضوعياً من حيث

عدة جوانب أهمها :

Central Tendency

(أ) النزعة المركزية

Dispersion

(ب) التشتت

Skewness

(جـ) الالتواء

Kurtosis

(د) التفرطح

ففي أغلب التوزيعات ذات القمة الواحدة يتراكم عدد كبير من قيم المتغير حول قيمة معينة ويقل هذا التراكم تدريجياً على وجه العموم كلما ابتعدت القيم عن هذه القيمة من الجانبين . هذا التراكم أو التجمع حول قيمة ما يسمى بالنزعة المركزية للتوزيع أو بالقيمة المتوسطة وتسمى القيمة التي يحدث حولها التجمع بمقياس النزعة المركزية . وبهنا في دراسة التوزيعات الحصول على هذا المقياس . ولما كان هذا المقياس يختلف في تركيبه بحسب طبيعة البيانات والهدف من دراستها فقد وضعت عدة مقاييس للنزعة المركزية نختار منها ما نرى أنه يلائم ما بأيدينا من توزيعات . ومن أشهر هذه المقاييس ما يلي :

الوسط الحسابي - الوسيط - المتوسط - الوسط الهندسي - الوسط التوافقي .

وسنهم هنا بصفة خاصة بالوسط الحسابي لأسباب عدة منها أنه أقوى مقاييس النزعة المركزية استجابة للمعالجة الرياضية ، وهو المقياس الذي نستخدمه عادة ما لم يتضح لنا أنه لا يعبر تعبيراً صادقاً عن هذه النزعة كما هو الحال مثلاً عندما يكون التوزيع مشتملاً على قيم متطرفة تشذ عن بقية القيم .

كما يهمننا كذلك قياس تشتت التوزيع أي قياس مدى انحراف قيم المتغير بالنسبة إلى بعضها وبالنسبة إلى القيمة المتوسطة ، أو بمعنى معكوس ، مدى تجانس التوزيع . ومن أشهر مقاييس التشتت ما يلي :

المدى - الانحراف الربيعي - الانحراف المتوسط - الانحراف المعياري - معامل الاختلاف .

وسنهم هنا بصفة خاصة بالانحراف المعياري لأنه كمقياس للتشتت يتمشى مع الوسط الحسابي كمقياس للنزعة المركزية وهما يؤخذان معاً أو يتركان معاً .

(٢ - ٤ - ١) الوسط الحسابي والانحراف المعياري :

MEAN AND STANDARD DEVIATION

مثال (٢ - ٥) :

اعتبر الأعداد السبعة الآتية : ٥ ٨ ٧ ١٠ ١١ ٤ ٩

نعلم أن الوسط الحسابي لعدد من القيم هو مجموع هذه القيم مقسوماً على عددها وهذا تعريف عام للوسط الحسابي ويمكن صياغته رمزياً في حالتنا هذه كالآتي .
(١)

$$\text{الوسط الحسابي} = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

حيث \bar{x} تعبر عن قيم المتغير ، n تعبر عن عدد هذه القيم .

ويعرف التباين Variance بأنه متوسط مجموع مربعات انحرافات قيم المتغير عن الوسط الحسابي وهذا ما نستطيع كتابته رمزياً كالآتي (على أساس أن التوزيع التكراري هو توزيع عينة) :

$$\text{التباين} = s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (٢-أ)$$

يلاحظ أن هذا العدد يساوي صفراً إذا وإذا فقط تساوت جميع القيم \bar{x} لأن كلا منها في هذه الحالة يساوي \bar{x} ، وهناك صورة أخرى للتباين تشتق من هذه الصورة بعمليات جبرية بسيطة ، وهذه الصورة هي :

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] \quad (٢-ب)$$

وبالرغم من أن هاتين الصورتين متطابقتان رياضياً ، إلا أننا في حساب التباين نستخدم الصورة الثانية لأن الخطأ الذي ينتج فيها من تقريب الأعداد أقل من ذلك

الذي ينتج من الصورة الأولى ، كما أنها أكثر طواعية لحاسبات الجيب والحاسبات الإلكترونية .

أما الانحراف المعياري فيعرف بأنه الجذر التربيعي الموجب للتباين ويرمز له بالرمز σ . وهو عدد موجب دائماً بالتعريف .

من الصيغتين (١) ، (٢ - ب) نرى أن حساب الوسط الحسابي والتباين يعتمد على حساب المجموعين $\sum x$ ، $\sum x^2$ وهذان المجموعان يمكن إيجادهما مباشرة من حاسبات الجيب أو من الجدول (٢ - ١١) الآتي وهو يخص المثال (٢ - ٥) .

الجدول (٢ - ١١)

لإيجاد الوسط الحسابي والانحراف المعياري لمجموعة من القيم

$\sum x$	$\sum x^2$
٥	٢٥
٨	٦٤
٧	٤٩
١٠	١٠٠
١١	١٢١
٤	١٦
٩	٨١
٥٤	٤٥٦

الوسط الحسابي $\bar{s} = \frac{\text{مجموع}}{n} = \frac{54}{7} = 7,71$ تقريباً

$$\frac{[\frac{1}{1-n} (\text{مجموع } s^2 - \frac{(\text{مجموع } s)^2}{n})]}{\frac{1}{1-n}} = \frac{[\frac{1}{1-7} (54 - \frac{54^2}{7})]}{\frac{1}{1-7}} = \frac{[\frac{1}{1-7} (54 - 426)]}{\frac{1}{1-7}} = \frac{[\frac{1}{1-7} (-372)]}{\frac{1}{1-7}} = \frac{-372}{1-7} = \frac{-372}{-6} = 62$$

تقريباً 6,071 =

الانحراف المعياري $\sigma = \sqrt{6,071} = 2,46$ تقريباً

مثال (٢-٦) :

أوجد الوسط الحسابي والانحراف المعياري للتوزيع التكراري البسيط المعطى بالمثل (٢-١) السابق .

نظراً لأن كل قيمة s_r من قيم المتغير مكررة k_r من المرات فإن مجموع القيم يكون $\sum k_r s_r$ وعلى ذلك فإن التعريف العام للوسط الحسابي يمكن صياغته في هذه الحالة كالآتي :

$$(3) \quad \text{الوسط الحسابي } \bar{s} = \frac{\sum k_r s_r}{n}$$

حيث $n = \sum k_r$

وبالمثل نعرف التباين كالآتي :

$$(4-أ) \quad \text{التباين } \sigma^2 = \frac{1}{1-n} (\sum k_r s_r^2 - \frac{(\sum k_r s_r)^2}{n})$$

$$\text{أو} \quad \frac{1}{1-n} (\sum k_r s_r^2 - \frac{(\sum k_r s_r)^2}{n}) \quad (4-ب)$$

يلاحظ أن التعريفين (١) ، (٢) ما هما إلا حالة خاصة من التعريفين (٣) ، (٤) تكون فيها جميع التكرارات ك_ر مساوية للواحد .
 لإيجاد المجموعين $\sum K_r S_r$ ، $\sum K_r S_r^2$ نوظف لحساب الوسط الحسابي والتباين نستخدم جدولاً كالجدول (٢-١٢) الآتي :

الجدول (٢-١٢)

لإيجاد الوسط الحسابي والانحراف المعياري لتوزيع تكراري بسيط

س _ر	ك	ك _ر س _ر	ك _ر س _ر ^٢
٧٧	٢	١٥٤	١١٨٥٨
٧٨	٢	١٥٦	٦٠٨٤
٧٩	٢	١٥٨	١٢٤٨٢
٨٠	٢	١٦٠	١٢٨٠٠
٨١	١	٨١	٦٥٦١
٨٢	٢	١٦٤	١٣٤٤٨
٨٣	٢	١٦٦	١٣٧٧٨
٨٤	٢	١٦٨	١٤١١٢
٨٥	٣	٢٥٥	٢١٦٧٥
٨٦	٥	٤٣٠	٣٦٩٨٠
٨٧	٣	٢٦١	٢٢٧٠٧
	٢٥	٢٠٧٥	١٧٢٤٨٥

$$\text{الوسط الحسابي} = \bar{x} = \frac{\text{مجموع القيم}}{n} = \frac{2075}{25} = 83$$

$$\text{التباين} = s^2 = \frac{1}{n-1} [\text{مجموع القيم}^2 - \frac{(\text{مجموع القيم})^2}{n}]$$

$$= \frac{1}{24} [172480 - \frac{(2075)^2}{25}] = 10,83$$

$$\text{الانحراف المعياري} = s = 3,291$$

مثال (٢ - ٧) :

أوجد الوسط الحسابي والانحراف المعياري للتوزيع التكراري ذي الفئات المعطى
بالمثال (٢ - ٢) السابق .

في حالة التوزيع التكراري ذي الفئات نعتبر كما سبق الذكر أن جميع القيم الواقعة في فئة ما مساوية لمركز الفئة . وعلى ذلك يكون مجموع هذه القيم مجموع القيم في فئة ما ترمز إلى مركز الفئة ، وتكون التعاريف (٣) ، (٤ - أ) ، (٤ - ب) صالحة للاستخدام هنا لإيجاد الوسط الحسابي والتباين مع فارق واحد وهو أن \bar{x} ترمز إلى مراكز الفئات في حالة التوزيعات التكرارية ذات الفئات ، بينما ترمز إلى قيم المتغير في حالة التوزيعات التكرارية البسيطة . ويجري الحساب كما في الجدول (٢ - ١٣) الآتي :

الجدول (٢ - ١٣)

لإيجاد الوسط الحسابي والانحراف المعياري لتوزيع تكراري ذي فئات

الفئات	س ر	ك ر	ك ر س ر	ك ر س ر
١٠,١٥ - ١٠,٤٥	١٠,٣	٣	٣٠,٩	٣١٨,٢٧
١٠,٤٥ - ١٠,٧٥	١٠,٦	٤	٤٢,٤	٤٤٩,٤٤
١٠,٧٥ - ١١,٠٥	١٠,٩	٤	٤٣,٦	٤٧٥,٢٤
١١,٠٥ - ١١,٣٥	١١,٢	٧	٧٨,٤	٨٧٨,٠٨
١١,٣٥ - ١١,٦٥	١١,٥	٥	٥٧,٥	٦٦١,٢٥
١١,٦٥ - ١١,٩٥	١١,٨	٩	١٠٦,٢	١٢٥٣,١٦
١١,٩٥ - ١٢,٢٥	١٢,١	٤	٤٨,٤	٥٨٥,٦٤
١٢,٢٥ - ١٢,٥٥	١٢,٤	٢	٢٤,٨	٣٠٧,٥٢
١٢,٥٥ - ١٢,٨٥	١٢,٧	٠	٠	٠
١٢,٨٥ - ١٣,١٥	١٣,٠	١	١٣,٠	١٦٩,٠٠
١٣,١٥ - ١٣,٤٥	١٣,٣	١	١٣,٣	١٧٦,٨٩
المجموع		٤٠	٤٥٨,٥	٥٢٧٤,٤٩

الوسط الحسابي لمخطط رأس الحمامة = $\bar{س} = \frac{٤٥٨,٥}{٤٠} = ١١,٤٦٢٥$ مليلترا

$$ع^٢ = \frac{١}{٣٩} \left[\frac{٤٥٨,٥}{٤٠} - ٥٢٧٤,٤٩ \right] = \text{التباين}$$

$$٠,٤٨٥٥ =$$

الانحراف المعياري = $\sqrt{٠,٤٨٥٥} = ٠,٦٩٦٨$ مليلترا

ملاحظات :

(١) الأصل في تعريف التباين هو $\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$ ولكن حين نستخدم تباين عينة حجمها n ووسطها الحسابي \bar{x} لتقدير تباين مجتمع تقديراً غير متحيز نضع $\frac{1}{n-1}$ بدلا من $\frac{1}{n}$ لأن تباين العينة يكون عادة أصغر من تباين المجتمع وهذا التعديل يجعل تباين العينة أكثر ملاءمة لتقدير تباين المجتمع ، وهناك من النظريات الرياضية ما يؤيد ذلك . وفيما عدا هذه الحالة نستخدم الصيغة الأصلية للتباين أي نحفظ بالعدد n .

(٢) لا تتغير قيمة التباين إذا طرح (أو أضيف) أي عدد من جميع قيم المتغير .

(٢ - ٤ - ٢) معامل الاختلاف :

يعرف معامل الاختلاف م . خ . لتوزيع ما كالآتي :

$$م . خ = \frac{ع}{\bar{x}} \times 100 \quad (٥)$$

حيث $ع$ هو الانحراف المعياري للتوزيع ، \bar{x} وسطه الحسابي .

فمثلا ، للتوزيع الذي بالمثال (٢ - ٦) :

$$م . خ = \frac{3.291}{83} \times 100 = 3,965$$

وللتوزيع الذي بالمثال (٢ - ٧) :

$$م . خ = \frac{11.6978}{11,4625} \times 100 = 10,79$$

إن معامل الاختلاف هو مقياس مطلق للتشتت وهو يستخدم لمقارنة تشتتات التوزيعات خاصة في الحالتين الآتيتين :

- (أ) حين تختلف متوسطات التوزيعات اختلافاً كبيراً كما هو الحال عند مقارنة تشتت أطوال أذيان الأفيال وتشتت أطوال أذيان الفيران .
- (ب) حين تختلف الوحدات التي تقاس بها المتغيرات كما هو الحال عند مقارنة تشتت أطوال مجتمع ما بأوزان هذا المجتمع .

SKEWNESS

(٢ - ٤ - ٣) الالتواء :

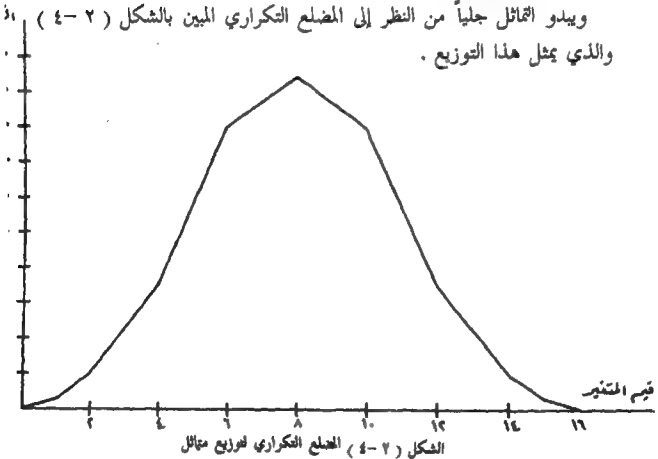
التواء توزيع ما يعني مدى بعده عن التماثل . ويكون التوزيع التكراري متاثلاً إذا كانت التكرارات موزعة توزيعاً متاثلاً حول الوسط الحسابي ، بمعنى أن تكون لقيم المتغير المتساوية البعد عن الوسط الحسابي نفس التكرارات . والتوزيع الآتي مثال لذلك :

س ١ ٢ ٤ ٦ ٨ ١٠ ١٢ ١٤ ١٥

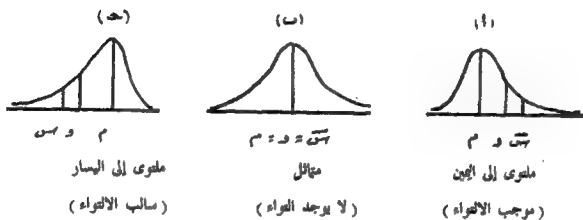
ك ٣ ١٠ ٣٥ ٨٠ ٩٥ ٨٠ ٣٥ ١٠ ٣

فهذا توزيع متماثل حول وسطه الحسابي $\bar{x} = 8$

ويبدو التماثل جلياً من النظر إلى المضلع التكراري المبين بالشكل (٢ - ٤) والذي يمثل هذا التوزيع .



وتقسم المنحنيات التكرارية من حيث الالتواء إلى ثلاثة أنواع تبين من الشكل (٢-٥) الآتي حيث \bar{x} ترمز إلى الوسط الحسابي ، و s ترمز إلى الوسيط ، م ترمز إلى المنوال وهو القيمة الأكثر تكرارا في التوزيع .



الشكل (٢-٥) : أنواع الالتواء

إذا كانت هذه الأشكال تمثل توزيعا لدرجات طلاب في امتحان ما فالشكل (أ) يشير إلى أن عددا كبيرا من الطلاب حصلوا على درجات أقل من المتوسط مما قد يعني أن مستوى الطلاب أقل من مستوى الامتحان . . . ، والشكل (ج) يشير إلى عكس ذلك . وهناك حقيقة هامة مثلت بوضوح في هذه الأشكال نقدمها كما يلي :

إذا كان التوزيع ملتويا إلى اليمين فإن $\bar{x} < s$ و $\bar{x} < m$ والعكس بالعكس .
وإذا كان التوزيع متماثلا فإن $\bar{x} = s$ و $\bar{x} = m$ والعكس بالعكس .
وإذا كان التوزيع ملتويا إلى اليسار فإن $\bar{x} > s$ و $\bar{x} > m$ والعكس بالعكس .
ويقال الالتواء عادة بأحد المقياسين الآتين :

$$(١) \text{ مقياس الالتواء} = \frac{3 \times (\text{الوسط الحسابي} - \text{الوسيط})}{\text{الانحراف المعياري}} = \frac{3 \times (s - \bar{x})}{\sigma} \quad (٦)$$

وهذا للمقياس مبنى على الحقيقة سابقة الذكر .

$$(٧) \text{ معامل الالتواء} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^3 / s^3 \quad (٧)$$

وهذا المقياس يتمشى مع الوسط الحسابي كمقياس للنزعة المركزية والانحراف المعياري كمقياس للتشتت .

من المهم أن نلاحظ مايلي :

(أ) كل من المقياسين (٦) و (٧) هو مقياس نسبي خالي من وحدات القياس وبالتالي يمكن استخدامه للمقارنة بين التواءات التوزيعات .

(ب) كل من المقياسين تقع قيمه بين العددين -3 ، $+3$.

(ح) في كل من هذين المقياسين حين تكون القيمة موجبة نقول إن الالتواء موجب أو إنه التواء إلى اليمين ، وحين تكون سالبة نقول إن الالتواء سالب أو إنه التواء إلى اليسار . أما إذا كانت القيمة الناتجة صفراً فنقول إنه لا يوجد التواء أو إن التوزيع متماثل .

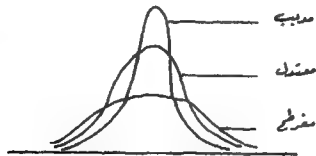
(٢ - ٤ - ٤) التفرطح : KURTOSIS (OR PEAKEDNESS)

تقسم المنحنيات التكرارية من حيث تفرطح قمته إلى ثلاثة أنواع هي :

(أ) معتدلة (متوسطة التفرطح) . Mesokurtic (Normal)

(ب) مدببة . Leptokurtic

(ج) مفرطحة . Platykurtic



الشكل (٢ - ٦) أنواع التفرطح

إن وصف المنحنيات بأنها مدببة أو مفرطحة يكون بالمقارنة مع المنحنيات المعتدلة التي سنتناولها بالدراسة في فصل قادم . وحين نقول إن المنحني مدبب فنحن نعني أن عدداً كبيراً من المفردات يتراكم بالقرب من الوسط الحسابي وعند الذيلين ولا يكون بالمواضع الأخرى إلا عدداً قليلاً منها ، وذلك بالمقارنة مع المنحنيات المعتدلة . كذلك حين نقول إن المنحني مفرطح فنحن نعني أن عدداً قليلاً من المفردات يتراكم بالقرب من الوسط الحسابي وعند الذيلين ويكون هناك عدد كبير منها بالمواقع الأخرى ، وذلك بالمقارنة مع المنحنيات المعتدلة .

ويعرف المقياس الذي سنأخذه للتفرطح كالآتي وهو يتمشي مع الوسط الحسابي والتباين ومعامل الالتواء السابق تعريفها وجميعها من فصيلة تسمى بفصيلة العزوم :

$$\text{معامل التفرطح} = \frac{1}{n-1} \times K_r (s_r - \bar{s})^4 / \sigma^4 \quad (٨)$$

حيث σ ترمز إلى الانحراف المعياري . وإذا وجد أن قيمة هذا المعامل في عينة ما قريبة من العدد ٣ قيل إن المنحني معتدل التفرطح ، وإذا زادت عن هذا العدد قيل إن المنحني مدبب ، وإذا قلت قيل إنه مفرطح .

ملاحظة :

إن الوسط الحسابي والانحراف المعياري ومعامل الالتواء ومعامل التفرطح ، بالإضافة إلى حجم التوزيع هي جل ما نحتاج إليه في التحليل الوصفي للتوزيعات ذات القمة الواحدة ، وإذا كان التوزيع يمثل عينة لمجتمع ما فإن هذه القيم تتخذ أساساً لتقدير المعالم الإحصائية لهذا المجتمع باستخدام الطرق الإحصائية كما سنرى بعد . على أن هناك توزيعات لا تصلح هذه المقاييس لوصفها ويستلزم الأمر حينئذ اختيار مقاييس أخرى تناسب هذه التوزيعات . فمثلاً حين يكون التوزيع شديد الالتواء أو محتوياً على قيم متطرفة تشذ عن بقية القيم لا يكون الوسط الحسابي معبراً تعبيراً صادقاً عن النزعة المركزية ولا يكون الانحراف المعياري معبراً تعبيراً صادقاً عن التشتت ويتضح هذا من المثال الآتي :

مثال (٢ - ٨) :

القيم الآتية هي أعمار ١٥ مريضاً بالسنوات دخلوا أحد أقسام إحدى المستشفيات في يوم ما ، وذلك بعد ترتيب هذه القيم تصاعدياً :

٣ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ١٠ ١١ ١١ ١٢ ١٣ ١٤ ٥٠ ٦٠

نلاحظ أن هناك قيمتين تشدان عن بقية القيم وهما ٥٠ ، ٦٠ وإذا حسبنا الوسط الحسابي لهذه المجموعة نجده يساوي $\frac{211}{15} = 14,07$ سنة ولا يعقل

أخذ هذه القيمة للتعبير عن متوسط أعمار المرضى فهي تزيد عن جميع قيم المجموعة المعطاة ماعدا قيمتين وفي الوقت ذاته تقل كثيراً عن هاتين القيمتين .

ويفضل في هذه الحال استخدام الوسيط كمقياس للنزعة المركزية لأنه لا يتأثر بالقيم المتطرفة . والوسيط هنا هو العدد ١٠ ومن الواضح أن هذا العدد يتوسط التوزيع وهو أصدق تعبيراً عن متوسط الأعمار من الوسط الحسابي .

في مثل هذه الحالات يستخدم ما يسمى بنصف المدى الربيعي لقياس التشتت وما يسمى بمعامل الالتواء الربيعي لقياس الالتواء وهما مقياسان يتمشيان مع الوسيط ويعرفان بدلالة الربيعات كالآتي :

نصف المدى الربيعي $= \frac{1}{2} (r_3 - r_1)$ Semi-interquartile range (٩)

معامل الالتواء الربيعي $= \frac{(r_3 - r_2) - (r_2 - r_1)}{(r_3 - r_2) + (r_2 - r_1)}$ (١٠)

$$= \frac{r_3 + r_2 - 2r_1}{r_3 - r_1}$$

ويلاحظ أن هذا المقياس للالتواء هو مقياس مطلق لا يتوقف على وحدات القياس وبالتالي يمكن استخدامه للمقارنة بين التواءات التوزيعات . وهو يساوي صفرًا للتوزيعات المتماثلة حيث يقع الربيعان الأول والثالث على بعدين متساويين من الوسيط r_p . كما يلاحظ أن قيمة هذا المقياس تقع بين العددين -1 ، $+1$ وكلما ابتعدت قيمته عن الصفر من اليمين أو اليسار كلما دل ذلك على التواء التوزيع . كذلك :

$$(11) \quad \text{معامل الاختلاف الربيعي} = \frac{\text{نصف المدى الربيعي} \times 100}{\text{الوسيط}}$$

وللمثال (٢ - ٨) الأخير نجد - كما في البند (٢ - ٣ - ١) ومع ملاحظة أن المتغير متصل - مايلي :

$$r_p = 5,25 \text{ ، } r_p = 10 \text{ ، } r_p = 12,75$$

$$\text{نصف المدى الربيعي} = \frac{1}{4} (5,25 - 12,75) = 3,75$$

$$\text{معامل الالتواء الربيعي} = \frac{5,25 + 20 - 12,75}{5,25 - 12,75} = -0,27$$

تمارين (٢ - ١)

(١) احسب الوسط الحسابي والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف للأعداد الآتية

$$100 \quad 98 \quad 120 \quad 95 \quad 110 \quad 110 \quad 100 \quad 125 \quad 92 \quad 130$$

(٢) رصدت أعمار عينة من ٢٧ شخصا بالسنوات المختلفة عند إصابتهم بمرض ما فوجدت كالتالي :

٦١ ٤٧ ٤٤ ٤٨ ٥٩ ٥١ ٤٠ ٤٠ ٣٣ ٥١ ٧١ ٤٧ ٤٥ ٢٦ ٥٠ ٣٩
٥٤ ٥٣ ٤٧ ٥٤ ٤٢ ٦٦ ٦٣ ٥٥ ٣٦ ٥٧ ٤١

أوجد \bar{x} ، s^2 ومنها احسب الوسط الحسابي والانحراف المعياري للعمر عند الإصابة بذلك المرض . (لا داعي لتكوين توزيع تكراري) .

(٣) فحص ١٢٢ قرنا من قرون شجرة السرقم (الأبانوس الكاذب *laburnum*) فوجد مايلي :

٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
عدد البذور في القرن							
١	٤	٩	١٣	١٥	٢١	٣٢	٢٧
عدد القرون							

(أ) احسب الوسط الحسابي والانحراف المعياري لعدد البذور في القرن .

(ب) ارسم المدرج التكراري للتوزيع .

(٤) قيست أطوال ٢٥ عظمة فخذ نوع من الحشرات (م م $10 \times$)^{١٦} فوجدت كما يلي :

٤,٤ ٣,٩ ٣,٨ ٣,٩ ٤,٢ ٣,٩ ٤,٣ ٤,٣ ٣,٣ ٤,٣ ٣,٥ ٤,٣ ٣,٦ ٣,٨
٤,١ ٤,٤ ٣,٦ ٤,٥ ٤,٤ ٣,٦ ٤,١ ٣,٦ ٤,٧ ٣,٨

(أولا) كون جدولا تكراريا ذا فئات طول فئته ٠,٣٠ ومثله بيانيا بمضلع تكراري .

(ثانيا) احسب كلا من الوسط الحسابي \bar{x} والانحراف المعياري s لطول عظمة الفخذ .

(ثالثاً) ارسم منحني التكرارات المتجمعة المثوية ومنه احسب ماييلي :

(أ) النسبة المثوية لعدد الحشرات التي تقل أطوالها عن ٤ م م^{١٠}

(ب) النسبة المثوية لعدد الحشرات التي تقع أطوالها بين العددين ٥± و ٤±

(ج) الوسيط أي طول عظمة الفك الذي تقل عنه أطوال ٥٠٪ من الحشرات .

(٥) التوزيعات الثلاثة الآتية هي توزيعات درجات مجموعة من ٢٤ طالبا

في ثلاثة اختبارات . ارسم المضلع التكراري لكل منها واذكر تعليقا عن التواء كل توزيع .

التوزيع الأول س ر : ١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠

ك ر : ٤ ٦ ٥ ٢ ٢ ١ ١ ١ ١ ١

التوزيع الثاني س ر : ١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠

ك ر : ١ ١ ٢ ٣ ٥ ٥ ٣ ٢ ١ ١

التوزيع الثالث س ر : ١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠

ك ر : ١ ١ ١ ١ ١ ٢ ٢ ٥ ٦ ٤

(٦) الأعداد الآتية هي الزيادة في الوزن بالكيلوجرامات لمجموعة من ١٣

بقرة بعد فترة من نظام غذائي معين :

٢,٩ ٢,٤ ٢,٣ ٢,١ ٢,٥ ٢,١ ٢,٧ ٥ ٢,٩ ٢,٢ ٢,٨ ٢,٩ ٢,٩

أوجد الوسيط ونصف المدى الربيعي ومعامل الالتواء الربيعي .

ملاحظة : استخدام الحاسبات :

تستطيع الحاسبات الالكترونية القيام بكل دقة وسرعة بالعمليات التي تتطلبها دراسة البيانات الاحصائية بدءا من تكوين الجداول والتوزيعات التكرارية من واقع البيانات الخام إلى حساب مقاييس النزعة المركزية والتشتت والالتواء والتفرطح .

(٢ - ٥) شكل الساق والورقة : Stem - and - Leaf Diagram

إن أسلوب الأشكال المسماه بأشكال الساق والورقة هو تنوع لأسلوب التوزيعات التكرارية ، فهو يؤدي إلى تجميع أو تكثيف البيانات في عدد مناسب من الأقسام مثله في ذلك مثل التوزيعات التكرارية ، إلا أنه يتميز عنها بأمرين رئيسيين أولهما أنه يحتفظ بفردية كل عنصر من عناصر البيانات وثانيهما أنه يسهل لنا التعرف على البيانات وتكوين فكرة عن توزيع المتغير الذي تعبر عنه هذه البيانات . ولهذا يعتبر هذا الأسلوب من الأدوات الأولية المفيدة في عملية التحليل الاستطلاعي للبيانات .

وإنشاء شكل ساق وورقة هو أمر غاية في السهولة ، ولا يتطلب إلا فصل أرقام كل عدد في البيانات إلى جزئين أحدهما يسمى ساق والآخر يسمى ورقة . والمعتاد أن تؤخذ الورقة على أنها الرقم الأخير في العدد أي الرقم الذي في أقصى يمينه ، أما الساق فهي بقية الأرقام . وتوضع الأرقام التي ترمز إلى السياق رأسيا ثم توضع الأوراق المصاحبة لكل ساق أفقيا كما في الأمثلة الآتية .

مثال (٢ - ٩)

الأعداد الآتية هي الأعمار عند حدوث صدمة قلبية لعينة من أربعين مريضا .
أنشئ شكل ساق وورقة واذكر ملاحظاتك عنه .

٨١	٦٩	٤٢	٥٨	٧٨	٧٣	٣٧	٤٠	٥٨	٣١
٥٢	٦٠	٦١	٦٠	٢٩	٣١	٤٨	٤٩	٨١	٦٢
٥٢	٥٨	٥٢	٦٠	٦١	٧٣	٥٧	٣٤	٥٢	٦١
٧٧	٥٩	٤٥	٤٥	٤٤	٤٠	٥١	٣٧	٥٢	٤٤

الحل :

في هذا المثال الورقة هي الرقم الأخير في العدد وهو رقم الآحاد أما الساق فهي رقم العشرات . فمثلا للعدد ٣١ الواحد هو الورقة والثلاثة هي الساق ، وللعدد ٦٢ الاثنان هي الورقة والستة هي الساق وهكذا .

٢	٩									ك
٣	١	٤	٧	٧	١					١
٤	٤	٠	٩	٨	٠	٤	٥	٢	٥	٥
٥	٨	٢	٢	٧	١	٨	٢	٨	٩	٩
٦	٢	١	١	٠	٠	١	١			١١
٧	٣	٣	٨	٧						٨
٨	١	١								٤
										٢

الشكل (٢-٧)

شكل ساق وورقة للأعداد التي حدثت عندها صدعات قلبية

لعينة من ٤٠ مريضا

لإنشاء الشكل نبدأ بتحديد السيقان وهي أرقام العشرات فنجد أنها تتراوح بين ٨،٢ . نرسم خطأ رأسيا ثم نكتب الأرقام الممثلة للسيقان على يساره مرتبة ترتيبا تصاعديا ونكون بذلك قد كتبنا جميع أرقام العشرات الممكنة ، ثم نمر على البيانات واحدا واحدا

لنكتب الرقم الممثل للورقة (أي رقم الآحاد) في كل منها في الصف الذي يناسبه أي على يمين الساق التي ترمز إلى رقم العشرات فيه . انظر الشكل (٢ - ٧) . نلاحظ أنه في الصف الأول من الشكل يوجد عدد واحد فقط وهو يمثل العمر ٢٩ ، وفي الصف الثاني توجد خمسة أعداد هي الأعمار ٣١ ، ٣٤ ، ٣٧ ، ٣٧ ، ٣١ وهكذا . وإذا جمعنا الأعداد التي بالصفوف جميعها لوجدناها مساوية للعدد ٤٠ وهو حجم العينة .

ملاحظات :

١ - في بناء شكل الساق والورقة ينبغي أن نختار عددا مناسباً من السيقان ، وذلك لكي نستطيع الإفادة من الشكل ، والمعتاد ألا يقل هذا العدد عن خمسة وألا يزيد عن عشرين . هذا مع ملاحظة أن شكل الساق والورقة لا تكون له فائدة كبيرة إذا كان عدد البيانات كبيراً جداً أو كان المدى الذي يتغير فيه المتغير كبيراً .

٢ - يمكننا دائماً استعادة البيانات الأصلية من الشكل المرسوم وذلك بضم الساق مع كل ورقة من أوراقه ، وهذا مانعناه بقولنا أن الشكل يحتفظ بفردية البيانات .

٣ - لتسهيل التعرف على خصائص توزيع البيانات ، ندير الشكل بحيث يصبح الخط الرأسي أفقياً وتكون الأرقام الممثلة للسيقان أسفل هذا الخط ، ويساعدنا في ذلك أيضاً أن نرسم خطاً ناعماً حول نهايات الأوراق ، ثم نحاول الإجابة عن تساؤلات كالآتية :

(أ) هل تميل البيانات إلى التجمع حول ساق أو سيقان معينة أم تتوزع على كل السيقان بشكل متعادل ؟

(ب) هل تنتشت البيانات تشتتاً واسعاً أم ضيقاً ؟

(ج) هل هناك تماثل في توزيع البيانات ؟ هل تميل البيانات إلى التناقص تدريجيا نحو أحد طرفي التوزيع ؟ هل هناك مميزات خاصة يشير إليها المنحنى المرسوم حول نهايات الأوراق ؟

ففي المثال (٢ - ٩) نجد أن عددا كبيرا من البيانات (١١ عمرا) يتجمع حول الساق (٥) ونلاحظ أن الشكل يكاد يكون متاثلا حول هذه الساق ، كما نلاحظ أن الصدمات القلبية في هذه العينة يحدث أغلبها في الخمسينات ثم في الأربعينات والستينات ، وأن هذه الصدمات لا تحدث تقريبا قبل سن الثلاثين أو بعد سن الثمانين .

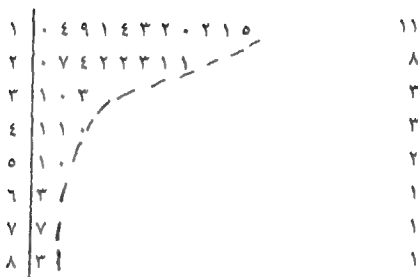
مثال (٢ - ١٠)

ارسم شكل ساق وورقة للبيانات الآتية التي هي مشاهدات عن المتغير العشوائي الذي يعبر عن شدة الزلازل التي حدثت في أحد المناطق مقاسة بمقياس ريختر Richter. علق على الشكل .

١٠٠	٨٠٣	٣٠١	١٠١	٥٠١	١٠٢	١٠٠	٤٠١	١٠١	٤٠٠
٢٠٠	١٠٩	٦٠٣	١٠٤	١٠٣	٣٠٣	٢٠٢	٢٠٣	٢٠١	٢٠١
١٠٤	٢٠٧	٢٠٤	٣٠٠	٤٠١	٥٠٠	٢٠٢	١٠٢	٧٠٧	١٠٥

الحل :

في أي عدد في هذه البيانات الورقة هي الرقم الذي في خانة الجزء من عشرة ، والساق هي رقم الآحاد . تتراوح السيقان بين ١ ، ٨ وإذن نكتب الأرقام ١ ، ٢ ، ٠٠٠ ٨ على يسار الخط الرأسي ثم نسجل الأوراق كل أمام الساق المناسبة فنحصل على الشكل (٢ - ٨) الآتي حيث نلاحظ أن هناك ١١ عددا في الصف الأول هي : ١٠٠ ، ١٠٤ ، ١٠٩ ، ١٠١ ، ١٠٤ ، ١٠٣ ، ١٠٢ ، ١٠٠ ، ١٠٢ ، ١٠١ ، ١٠٥ ، وثمانية أعداد في الصف الثاني هي : ٢٠٠ ، ٢٠٧ ، ٢٠٤ ، ٢٠٢ ، ٢٠٢ ، ٢٠٣ ، ٢٠١ ، وهكذا .



٣٠

الشكل (٢ - ٨)

شكل ساق وورقة لشدة الزلازل مقاسة بمقياس ريختر
في عينة مأخوذة من أحد المناطق

التعليق :

تشتتت شدة الزلازل بين القيمتين ١,٠ ، ٨,٣ غير أن البيانات تميل إلى التجمع حول القيم الصغرى وتقل تدريجياً في اتجاه القيم الكبرى (هناك التواء إلى اليمين) وهذا يعنى أن معظم الزلازل في هذه العينة كانت خفيفة . وإذا كانت هذه العينة تعبر عن المجتمع ككل ، فإن وقوع زلازل شديدة في هذه المنطقة يكون أمراً بعيد الاحتمال .

مثال (٢ - ١١)

ارسم شكل ساق وورقة مع التعليق لبيانات المثال (٢ - ٢) السابق عن أطوال محيطات رؤوس عينة من ٤٠ من الحمام المنزلي وهي :

١١,٦ ١١,٨ ١١,٨ ١٢,٢ ١٢,٣ ١١,١ ١١,٩ ١١,٨ ١٢,٩ ١٢,٢
١١,١ ١٠,٥ ١١,٢ ١٣,٣ ١١,٩ ١١,٦ ١١,٢ ١١,٣ ١١,٥ ١٠,٧

١١,٦ ١٠,٩ ١٠,٢ ١١,٩ ١١,٠ ١٠,٨ ١٠,٧ ١٠,٤ ١١,٩ ١٢,١
١١,١ ١١,٣ ١١,٨ ١١,٧ ١٢,٤ ١٢,٠ ١٠,٧ ١٠,٤ ١١,٦ ١٠,٨

الحل :

في هذا المثال الورقة هي الرقم الذي بخانة الجزء من عشرة ، والساق هي العدد المكون من رقمي الآحاد والعشرات ، فمثلا للعدد ١٢,٢ الورقة هي ٢ والساق هي ١٢ . إذا استخدمنا الطريقة التي استخدمناها في المثالين السابقين نجد أن لدينا أربعة سيقان فقط هي ١٠ ، ١١ ، ١٢ ، ١٣ ويكون من الصعب تكوين فكرة عن التوزيع بهذا العدد القليل من السيقان . وللتغلب على هذه الصعوبة نأخذ كل رمز يرمز إلى ساق مرتين وبذلك نكون قد قسمنا البيانات إلى ٨ أقسام وهذا عدد مناسب ، على أن نكتب أمام الرمز في المرة الأولى الأوراق ٠ ، ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ونكتب أمام الرمز في المرة الثانية الأوراق ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ كما في الشكل (٢ - ٩) الآتي :

١٠	٤ ٤ ٢	٣
١٠	٧ ٨ ٧ ٧ ٨ ٥ ٩	٧
١١	٣ ٢ ١ ٠ ٢ ٣ ١ ١	٨
١١	٥ ٩ ٦ ٨ ٩ ٦ ٩ ٩ ٧ ٨ ٨ ٨ ٦ ٦	١٤
١٢	٢ ١ ٠ ٣ ٤ ٢	٦
١٢	٩	١
١٣	٣	١
١٣		
		٤٠

الشكل (٢ - ٩)

شكل ساق وورقة لأحوال محطات رؤوس عينة من ٤٠ من الحمام المنزلي

التعليق :

تشتت أطوال محيطات رؤوس الحمام بين القيمتين ١٠,٢ ، ١٣,٣ من المليمترات ، إلا أن عددا كبيرا منها يتجمع حول الساق ١١ ويقل هذا التجمع تدريجيا من الناحيتين بمقادير متوازنة تكاد تجعل الشكل متماثلا .

تمارين (٢ - ٢)

١ - الآتي هي أعداد النقاط التي حاز عليها ٤٠ لاعبا في فرق كرة القدم بإحدى المدارس الثانوية . انشئ شكل ساق وورقة مستخدما السيقان ٠ ، ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧ ثم علق على الشكل .

٠	٢	٥٩	٤٥	٠	١	١٨	٠	٥٧	٠
٢	٦٠	٧	٤	١	٠	٤٢	٩	٣	٣
٤٨	٣	٤٦	٨	٣	٦	٣٧	٣٥	١٧	٤
٧٥	٧٥	٢	٢١	٦	٢١	٢	٠	١٨	٢

٢ - أجريت دراسة لمدة تأثير التدخين على نمط النوم . المتغير العشوائي μ الذي يدرس هو الزمن بالدقائق الذي يمضي حتى ينام الشخص ، وقد وجدت البيانات الآتية في عيتين عشوائيتين إحداهما من المدخنين والأخرى من غير المدخنين . المطلوب رسم شكل ساق وورقة لكل عينة باستخدام الأعداد من ١٥ إلى ٢٥ كسيقان ثم بيان ما إذا كان هناك فرق بين توزيع المتغير μ في العيتين .

غير المدخنين							المدخنون						
١٧,٢	١٩,٧	١٨,١	١٥,١	١٨,٣	١٧,٦	١٥,١	٢٠,٥	١٧,٧	٢١,٣	١٦,٠	٢٤,٨		
١٦,٢	١٩,٩	١٩,٨	٢٣,٦	٢٤,٩	٢٠,١	١٦,٨	٢١,٢	١٨,١	٢٢,١	١٥,٩	٢٥,٢		
١٩,٨	٢٢,٦	٢٠,٠	٢٤,١	٢٥,٠	٢١,٤	٢٢,٨	٢٢,٤	١٩,٤	٢٥,٢	١٨,٣	٢٥,٠		
٢١,٢	١٨,٩	٢٢,١	٢٠,٦	٢٣,٣	٢٠,٢	٢٥,٨	٢٤,١	١٥,٠	٢٤,١	٢١,٦	١٦,٣		
٢١,١	١٦,٩	٢٣,٠	٢٠,١	١٧,٥	٢١,٣	٢٤,٣	٢٥,٧	١٥,٢	١٨,٠	٢٣,٨	١٧,٩		
٢١,٨	٢٢,١	٢١,١	٢٠,٥	٢٠,٤	٢٠,٧	٢٣,٢	٢٥,١	١٦,١	١٧,٢	٢٤,٩	١٩,٩		
١٩,٥	١٨,٨	١٩,٢	٢٢,٤	٩١,٣	١٧,٤	١٥,٧	١٥,٣	١٩,٩	٢٣,١	٢٣,٠	٢٥,١		

٣ - في تجربة نفسية عن التعلم استخدم ٤٠ فأراً قسموا عشوائياً إلى قسمين متساويين في العدد وأتيح لكل فأر أن يجري في متاهة وسجل الوقت الذي يستغرقه في اتمامها بالثواني . دربت واحدة فقط من المجموعتين على الجري في المتاهة ، ثم أتيح لكل فأر أن يجري في المتاهة مرة ثانية وسجل الوقت الذي يستغرقه في هذه المرة الثانية . المتغير الذي يدرس هو الفرق في الوقت بين المراتين (الوقت في المرة الأولى - الوقت في المرة الثانية) . دونت هذه الفروق في الجدول الآتي :

الفئران غير المدربة				الفئران المدربة			
٢,١-	٢,٢-	١,١-	٢,٥-	٤,٠	٣,٢	٤,١	٤,٩
١,٢-	٢,٠	٢,٤-	٠,٦-	٤,٢	٣,٧	٤,٣	٤,٢
١,٣	١,٣-	٠,٢-	٢,٧-	٤,٤	٣,٦	٣,٥	٤,٩
١,٤	٠,٩	٢,٢	٢,١	٥,١	٤,٥	٤,٧	٥,٠
١,٨	٢,١	١,١	٢,٦	٥,٦	٤,٦	٥,٢	٥,٥

انشئ شكل ساق وورقة لكل من المجموعتين (استخدم السيقان ٣ ، ٣ ، ٤ ، ٤ ، ٥ ، ٥ للفقران المدربة ؟ -٢ ، -١ ، -٠ ، ١ ، ٢ للفقران غير المدربة) ثم حاول الاجابة عما يأتي :

(أ) متى تنتج القيم الموجبة وماذا تعنى هذه القيم ؟

(ب) من الواضح أن متوسط الفروق في عينة الفقران المدربة (وجميعها موجبة) أكبر منه في عينة الفقران غير المدربة ، فهل هذا يعنى أن الفقران تتعلم من التدريب ؟

(جـ) قارن بين التوزيعين مستخدما شكل الساق والورقة .

الفصل الثالث

بعض نماذج الاحتمال

SOME PROBABILITY MODELS

كما أشرنا في نهاية البند (١ - ٣) ، نصف المتغير x بأنه متغير عشوائي إذا كانت قيمه أعداداً حقيقية يتأثر قياسها بعوامل عشوائية ويكون ظهورها مصحوباً باحتمالات محددة . ولكل متغير عشوائي توزيع يربط بين قيمه واحتمالاتها يسمى بتوزيع الاحتمال لهذا المتغير . وتنقسم توزيعات الاحتمال للمتغيرات العشوائية إلى نوعين هما توزيعات الاحتمال الثابتة وتوزيعات الاحتمال المتصلة بحسب كون المتغير من النوع الثواب أو من النوع المتصل .

(٣ - ١) توزيعات الاحتمال الثابتة

DISCRETE PROBABILITY DISTRIBUTIONS

ليكن x متغيراً حقيقياً وثاباً يأخذ القيم
 $s_1, s_2, s_3, \dots, s_m, \dots$ باحتمالات قدرها
 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_m, \dots$ حيث $\sum p_i = 1$
إن تجمع قيم s_i مع احتمالاتها المناظرة في مجموعة من الأزواج المرتبة
 $\{(s_1, p_1), (s_2, p_2), (s_3, p_3), \dots, (s_m, p_m), \dots\}$
يسمى بتوزيع الاحتمال للمتغير العشوائي x .

وفي كثير من الأحيان يمكن أن نجد داله غير سالبة د حيث :

$$(1) \quad d(s) = l(s) \quad (s = 0, 1, 2, 3, 4, 5)$$

أى حيث تكون قيمة الدالة د عند س مساوية لاحتمال أن يأخذ المتغير س القيمة س . وتسمى هذه الدالة حينئذ بدالة كتلة الاحتمال للمتغير س probability mass function

مثال (٣ - ١) :

التوزيع الآتي هو توزيع الاحتمال لعدد مرات إصابة الهدف لجندى ما يطلق بندقته على هدف ثابت ٥ مرات .

عدد مرات إصابة الهدف س :	٥	٤	٣	٢	١	صفر
احتمال هذا العدد	٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٤	٠,١
لاحظ أن مح ل =	٠	٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠

ويمكن هنا التعبير عن الاحتمالات بواسطة الدالة د المعرفة كالآتي :

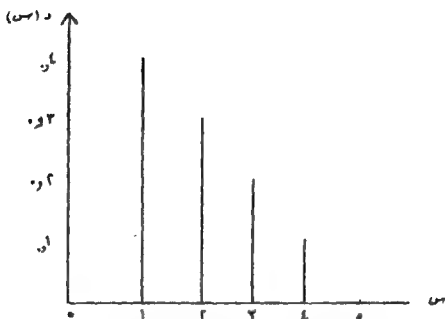
$$d(s) = \frac{p(s)}{1} \quad \text{حيث } s = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \quad \text{فيما عدا ذلك صفر}$$

إذ أنه بوضع س = ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ نحصل على الاحتمالات ٠,١ ، ٠,٢ ، ٠,٣ ، ٠,٤ ، ٠,٤ ، ٠,١ صفر .

ونمثل هذه الدالة أو هذا التوزيع بيانيا كما في الشكل (٣ - ١) الآتي .

(٣-١-١) الوسط الحسابي والتباين : MEAN AND VARIANCE

إن توزيعات الاحتمال الوثابة تشبه التوزيعات التكرارية ، إلا أن الاحتمالات ل_٢ تحمل محل التكرارات ل_٢ ، كما أن حجم التوزيع هو الواحد الصحيح دائماً . وهذا الواحد يشير إلى أن هناك احتمالاً قدره الواحد الصحيح موزعاً على القيم المختلفة للمتغير ولذلك سمى التوزيع بتوزيع الاحتمال .



الشكل (٣ - ١) الأعمدة البائية لتوزيع احتمال
عدد مرات إصابة الهدف لجندى يطلق على الهدف خمس طلقات

ومن هنا كان تعريفا الوسط الحسابي والتباين لتوزيع احتمال - وسنرمز لهما بالرمزين μ ، σ^2 ، يشبهان تعريفى الوسط الحسابي والتباين للتوزيع التكرارى فهما يعرفان كالآتي :

$$(٢) \quad \text{الوسط الحسابي} = \mu = \text{م. ل. س. م.}$$

$$\text{التباين} = \sigma^2 = \text{م. ل. س. م.} (\mu - \text{س. م.})^2$$

$$(٣) \quad \text{أو} = \text{م. ل. س. م.}^2 - \mu^2$$

أما الانحراف المعياري فهو بالطبع الجذر التربيعي للتباين .

ففي المثال (٣ - ١) السابق نجد أن :

$$\mu = \text{م. ل. س. م.}$$

$$= 0 \times 0 + 1 \times 0.1 + 2 \times 0.3 + 3 \times 0.2 + 4 \times 0.4 = 2.5$$

$$\sigma^2 = \text{م. ل. س. م.}^2 - \mu^2$$

$$= (0 \times 0 + 1 \times 0.1 + 4 \times 0.3 + 9 \times 0.2 + 16 \times 0.4) - 2.5^2 = 1$$

$$= 1 - 0.5 = 0.5$$

PROBABILITY MODELS

(٣-٢) نماذج الاحتمال :

نموذج الاحتمال لمتغير عشوائي X هو توزيع احتمال ذو صيغة رياضية محددة يفترض أنها تعكس سلوك المتغير X . ويعبر عن الاحتمالات من هذا النموذج بدلالة واحد أو أكثر من أدلة مجهولة تتوقف على خواص المجتمع وطريقة المعاينة منه . ويبنى كل نموذج احتمال على افتراضات خاصة تصور تصويراً مناسباً الميكانيكية العشوائية التي تسبب الاختلافات في مشاهداتنا عن المتغير .

وستتناول فيما يلي أربعة من أشهر نماذج الاحتمال للمتغيرات العشوائية الثابتة تعرف بتوزيع ذي الحدين وتوزيع بواسون وتوزيع باسكال والتوزيع الهندسي .

(٣-٣) توزيع ذي الحدين : THE BINOMIAL DISTRIBUTION

في كثير من الأحيان يكون اهتمامنا منصباً على وجود أو عدم وجود خاصية ما في وحدات أو عناصر مجتمع ما . ولذلك ننظر إلى المجتمع على أنه مقسم إلى قسمين منفصلين بحسب هذه الخاصية . فمثلاً قد نقسم مجتمعاً من الطلاب بحسب خاصية القومية إلى القسمين : عربي / غير عربي أو بحسب الجنس إلى : ذكر / أنثى أو إلى القسمين : يدخن / لا يدخن أو إلى القسمين : يلبس نظارة / لا يلبس نظارة أو إلى أى قسمين منفصلين متكاملين .

في مثل هذه الحال تتركز الصفة الأساسية للمجتمع في دليل أو بارامتر واحد هو نسبة أى من القسمين - وليكن القسم الأول - إلى المجتمع كله ، وسنرمز إلى هذه النسبة بالرمز H . فمثلاً قد تكون H نسبة الطلاب العرب في المجتمع ، وهنا تكون نسبة الطلاب غير العرب هي $1 - H$. وهذا يعني أننا إذا سحبنا عشوائياً عنصراً من المجتمع فإن H تعبر عن احتمال أن يكون هذا العنصر من القسم الأول (طالب عربي مثلاً) كما أن $1 - H$ تعبر عن احتمال أن يكون العنصر من القسم الثاني (طالب غير عربي) .

سنسمى ظهور عنصر من القسم الأول نجاحاً للنجاح أو الحدث الذي ندرسه وظهور عنصر من القسم الثاني فشلاً للحدث ، أى سنعتبر أن لدينا حدثاً واحداً - مثلاً ظهور طالب عربي - إما أن يقع أو لا يقع .

إن هدفنا الأساسي من هذه الدراسة يتلخص فيما يلي : نفرض أننا سحبنا من المجتمع عينة عشوائية حجمها $n = 10$ مثلاً . هناك ١١ حالة ، إذ يمكن أن تكون هذه العينة خالية من أى عنصر من القسم الأول كما يمكن أن تشتمل على عنصر واحد فقط من هذا القسم أو تشتمل على عنصرين أو ثلاثة أو أربعة أو ... عشرة . أى أن عدد مرات نجاح الحدث يمكن أن يكون ٠ ، ١ ، ٢ ، ٣ ، ... ، ١٠ . والسؤال الذى نستهدف الإجابة عنه هو : ما احتمال كل من هذه الحالات ؟ وبمعنى آخر إذا اعتبرنا أن لدينا متغيراً عشوائياً X يعبر عن عدد مرات نجاح الحدث فما توزيع الاحتمال لهذا المتغير ؟

إن الإجابة عن هذا السؤال تتوقف على ما نضعه من افتراضات نرى أنها مناسبة لما يهمنا من أوضاع ويمكن تحقيقها في عملية التجريب . وسوف نتبنى هنا الافتراضات أو الشروط الآتية :

(١) عشوائية العينة :

سنفترض أن المعاينة (أى سحب العناصر من المجتمع) عشوائية .

(٢) ثبات الدليل ح :

سنفترض أن احتمال نجاح الحدث هو عدد ثابت ح طوال عملية سحب العينة . ولكى يتحقق هذا الفرض سنعتبر أن حجم المجتمع كبيراً بالنسبة لحجم العينة وبالتالي فإنه حتى إذا كانت المعاينة بغير إرجاع يكون التغير الذى يحدث في قيمة ح تغيراً طفيفاً يمكن التجاوز عنه ، كما سنفترض أيضاً أن قيمة ح لا تختلف من عينة إلى أخرى .

(٣) استقلال الأحداث :

سنفترض أن نجاح (أو فشل) الحدث في أى سحبة مستقل عما نتج من نجاح أو فشل في السحبات السابقة ، أى أن ما تسفر عنه أى سحبة لا يتأثر بأى حال .
 ١ نتج في السحبات الأخرى . كما سنفترض أن عدد مرات نجاح الحدث في عينة
 ٢ مستقل عن عدد مرات نجاحه في أى عينة أخرى .

تحت هذه الشروط وباستخدام قاعدة الضرب للأحداث المستقلة وقاعدة الجمع للأحداث المتنافية - انظر البند (١ - ٧) عن توافقات الاحتمال - نستطيع أن نثبت رياضياً أنه إذا كان المتغير s يعبر عن عدد مرات نجاح الحدث فإن دالة كتلة احتماله تأخذ الصورة الآتية :

$$d(s) = \binom{n}{s} p^s q^{n-s} \quad \text{حيث } s = 0, 1, \dots, n \quad (٤)$$

وحيث $1 < p < 1$ ، $q = 1 - p$ ، n هو حجم العينة .

ويسمى توزيع الاحتمال حينئذ بتوزيع ذى الحدين .

كما نستطيع أن نثبت رياضياً أن

$$\text{الوسط الحسابي للتوزيع} = np \quad (٥)$$

$$\text{تباين التوزيع} = npq \quad (٦)$$

وجدير بالملاحظة أن الدالة (٤) تتوقف على اثنين من الأدلة هما n ، p ومعرفة هذين الدليلين تحدد التوزيع تحديداً تاماً . ولذلك سنرمز لتوزيع ذى الحدين بالرمز (n, p) .

ملاحظة :

يمكن إيجاد التوافقات $\binom{n}{s}$ بالطريقة الحسابية المعتادة أو باستخدام مثلث

باسكال أو باستخدام جداول جاهزة حسبت فيها هذه التوافقات - انظر الجدول

(٢) في ملحق هذا الكتاب وهو يعطى التوافقات $\binom{n}{r}$ لبعض قيم n ، s ($n = 1, 2, 3, \dots, 20$ و $s = 0, 1, 2, \dots, 20$) كما يمكن إيجاد قيم الاحتمالات (٤) من الجدول (٣) لبعض قيم n ، h ($n = 2, 3, \dots, 15$ و $h = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$).

مثال (٣ - ٢) :

افرض أن احتمال ولادة مولود ذكر هو ٠,٥ واعتبر العائلات التي أنجبت ٤ أطفال .
(أ) أوجد توزيع احتمال المتغير x الذى يعبر عن عدد الذكور في العائلات ذوات الأربعة الأطفال .

(ب) إذا أخذنا عشوائياً ٢٠٠٠ عائلة من هذا النوع فما العدد الذى نتوقعه للعائلات التي يكون بها ولدان على الأقل ؟

الحل :

لدينا مجتمع من الولادات مقسم إلى القسمين ذكر / أنثى ، واحتمال وقوع أو نجاح الحدث « المولود ذكر » هو عدد ثابت $h = \frac{1}{2}$. إن المتغير x يعبر هنا عن عدد الأولاد (الذكور) في العائلات ذوات الأربعة الأطفال أى عدد المرات التي تحدث فيها ولادة مولود ذكر في هذا النوع من العائلات وإذن فالمتغير x لا يأخذ إلا القيم ٠ ، ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ . إن كل عائلة تعتبر عينة عشوائية حجمها $n = 4$ ، فإذا فرضنا أن إنجاب مولود ذكر (أو أنثى) في أى ولادة مستقل عما ينتج في الولادات الأخرى تكون الافتراضات الثلاثة لتوزيع ذى الحدين متوفرة ويكون للمتغير x توزيع ذى الحدين دليلاً $n = 4$ ، $h = \frac{1}{2}$. بالتالى تكون دالة كتلة احتماله :

$$د (س) = \left(\frac{1}{4} \right)^3 \left(\frac{1}{4} \right)^4 = \frac{1}{16}$$

حيث $س = ٠, ١, ٢, ٣, ٤$

(أ) توزيع الاحتمال المطلوب هو التوزيع المين في العمودين الأول والثاني من الجدول (٣ - ١) الآتي :

الجدول (٣ - ١)

توزيع الاحتمال لعدد الذكور في العائلات ذوات الأربعة الأطفال - $س = ٠, ١, ٢, ٣, ٤$

عدد الذكور في العائلة	احتمال هذا العدد	العدد المتوقع من العائلات
س	د (س)	د × ٢ ... (س)
٠	$\frac{1}{16} = \frac{1}{16}$	١٢٥
١	$\frac{1}{16} = \frac{4}{16}$	٥٠٠
٢	$\frac{1}{16} = \frac{6}{16}$	٧٥٠
٣	$\frac{1}{16} = \frac{4}{16}$	٥٠٠
٤	$\frac{1}{16} = \frac{1}{16}$	١٢٥
	١,٠٠٠	٢,٠٠٠

(ب) أما العمود الثالث فيعطى الأعداد المتوقعة من العائلات التي بها ٠, ١, ٢, ٣, ٤ أولاد من بين الـ ٢٠٠٠ عائلة ، ومن هذا العمود ينتج أن العدد المتوقع للعائلات التي بها ولدين على الأقل .

= العدد المتوقع للعائلات التي بها ولدين أو ثلاثة أو أربعة .

$$١٣٧٥ = ١٢٥ + ٥٠٠ + ٧٥٠ = \text{عائلة}$$

مثال (٣ - ٣) :

حسب نظرية مندل للخواص الوراثية ، حين يهجن نوع من النباتات حمراء

الزهور مع نوع ذى قرابة من نباتات بيضاء الزهور تنتج خلفه ٢٥٪ منها حمراء الزهور . نفرض أننا سنقوم بتهجين ٥ أزواج من هذه النباتات نختارها عشوائياً فما احتمال أن يكون من بين خمسة السلالات الناتجة :

(أ) لا توجد نباتات حمراء الزهور .

(ب) يوجد على الأقل ٤ نباتات حمراء الزهور ؟

الحل :

لدينا مجتمع من السلالات مقسم إلى القسمين : حمراء الزهور / بيضاء الزهور . واحتمال الحدث « حمراء الزهور » هو عدد ثابت $H = 0,25$ ومن الطبيعي أن نعتبر أن النواتج مستقلة لأن التهجين يتم بين أزواج مختلفة من النباتات . وعلى ذلك تكون الشروط الثلاثة متوفرة ويكون لدينا متغير عشوائي X يعبر عن عدد النباتات حمراء الزهور في العينات العشوائية ذوات الحجم $n = 5$ وهو متغير له توزيع ذى الحدين دليلاه $0, 25$ ، ودالة كتلة احتماله

$$P(X=x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad \text{حيث } p = 0,25, \quad x = 0, 1, 2, 3, 4, 5$$

(أ) احتمال عدم وجود نباتات حمراء الزهور .

$$P(X=0) = \binom{5}{0} (0,25)^0 (0,75)^5 = 0,2344$$

$$= 0,2344$$

(ب) احتمال وجود ٤ نباتات حمراء الزهور على الأقل .

$$P(X \geq 4) = P(X=4) + P(X=5)$$

$$= \binom{5}{4} (0,25)^4 (0,75)^1 + \binom{5}{5} (0,25)^5 (0,75)^0$$

$$= 0,016$$

(٣ - ٣ - ١) تقدير الدليل ح :

في توزيع ذى الحدين ، إذا كانت قيمة البارامتر ح مجهولة ، يمكن تقديرها تجريبياً من عينات بحيث تتوفر الشروط الثلاثة سالفة الذكر . فإذا حصلنا على التوزيع التكرارى لعينة حجمها ن ووجدنا أن وسطها الحسابي \bar{x} فإننا نأخذ هذا الوسط كتقدير للوسط الحسابي لتوزيع ذى الحدين وهو كما نعلم يساوى ن ح وبالتالى نقدر البارامتر ح بالعدد ر حيث :

$$r = \frac{\bar{x}}{n} \quad (٧)$$

مثال (٣ - ٤) :

لتقدير نسبة الحصى الجرانيتية إلى مجتمع الحصى على أحد الشواطئ أخذت من هذا الشاطئ ١٠٠ عينة عشوائية بكل منها ثلاث حصوات وحسب عدد الحصوات الجرانيتية بكل عينة فنتج التوزيع التكرارى الآتى :

عدد الحصوات الجرانيتية في العينة	٠	١	٢	٣
عدد العينات	٥٨	٣٣	٧	٢
الوسط الحسابي لهذا التوزيع التكرارى	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \cdot K_i$			
	$= \frac{1}{100} (0 + 14 + 33 + 7) = 0,53$			

إذن تقدير البارامتر ح من العينة هو $r = \frac{\bar{x}}{n} = \frac{0,53}{3} = 0,177$ تقريباً

هذا على فرض أن توزيع عدد الحصى الجرانيتية هو توزيع ذى الحدين دليله ن ، ح حيث $n = 3$ ، ولنا أن نقول حيث أن هناك حوالى ١٧,٧٪ من الحصى الجرانيتية في مجتمع الحصى الذى على ذلك الشاطئ . ويمكننا اختبار مدى صواب هذا القول كما في البند التالى .

ويلاحظ أنه يمكن أيضاً تقدير النسبة ح من عينة عشوائية واحدة بشرط أن تكون كبيرة الحجم وذلك بأخذ التكرار النسبي لعدد الحصص الجرائنية التي ظهرت في العينة . ففى هذا المثال لدينا ٣٠٠ حصوة منها ٥٣ حصوة جرائنية (٠ + ٣٣ + ١٤ + ٦) وعلى ذلك فالتكرار النسبى للحصص الجرائنية هو $\frac{٥٣}{٣٠٠} = ٠,١٧٧$

(٣ - ٣ - ٢) اختبار ما إذا كان الدليل ح له قيمة معينة . توفيق توزيع ذى الحدين لتوزيع تكرارى معلوم .

نفرض أن قائلاً ذكر أن الدليل ح لتوزيع ذى الحدين لمتغير ما له قيمة معينة أمثلاً ونريد اختبار هذا القول . لتحقيق هذا الغرض تتبع الخطوات الثلاث الآتية :

(أ) نختار عينات عشوائية من حجم معين ن ونحسب عدد مرات وقوع الحدث في كل منها أى نحسب العدد س (حيث $س = ٠, ١, ٢, \dots$) في كل منها . نجمع هذه البيانات في توزيع تكرارى لنحصل على التكرارات ك_١ ، ك_٢ ، ك_٣ ، ... ، ك_٤ المناظرة للأعداد ٠ ، ١ ، ٢ ، ... ، ن . إن هذه التكرارات نرمز لها بالرمز ك_٢ ونسميها بالتكرارات المشاهدة . إن التوزيع الناتج يكون على نمط التوزيع الوارد بالمثال (٣ - ٤) .

(ب) إذا كان القول أو الفرض ح = أ صحيحاً فإن توزيع الاحتمال للمتغير ذى الحدين يكون دليلاً ن ، أ معروفين ونستطيع إيجاد هذا التوزيع والحصول على الاحتمالات ل_١ ، ل_٢ ، ل_٣ ، ... ، ل_٤ المناظرة للأعداد ٠ ، ١ ، ٢ ، ... ، ن . نضرب كلا من هذه الاحتمالات (التكرارات النسبية النظرية أو المتوقعة) في عدد العينات المأخوذة لنحصل على الأعداد ق_١ ، ق_٢ ، ق_٣ ، ... ، ق_٤ . إن هذه الأعداد نرمز لها بالرمز ق_٢ ونسميها بالتكرارات النظرية أو المتوقعة .

(ج) نقارن بين التكرارات النظرية ق_٢ والتكرارات المشاهدة ك_٢ المناظرة لها فإذا كانت المطابقة حسنة أى كانت أزواج التكرارات قريبة من بعضها بدرجة

معقولة بحيث لا يكون بينها فروق كبيرة جاز لنا قبول الفرض أن $H = A$ وإلا نرفضه .

إن مثل هذا الاختبار يدخل في موضوع اختبارات الفروض الذى سنتناوله في فصل لاحق حيث سنتعرف على أدوات تمكننا من الحكم حكماً موضوعياً على مدى صغر أو كبر مثل هذه الفروق وبالتالي من الحكم على صواب أو خطأ ذلك الفرض .

مثال (٣ - ٥) :

لاختبار الفرض القائل أن إنجاب الذكور وإنجاب الإناث متساويا الاحتمال ،
اختيرت عشوائياً ٣٢٠ عائلة بكل منها ٤ أطفال فتتج التوزيع التكرارى الآتى :

عدد الأطفال الذكور في العائلة س :	٠	١	٢	٣	٤
عدد العائلات ك :	١٣	٤٣	٩٢	١١٢	٦٠

هل هذه البيانات تدعم الفرض المذكور أو تنفيه ؟

الحل :

على فرض أن إنجاب الذكور وإنجاب الإناث متساويا الاحتمال ، فإن احتمال ولادة مولود ذكر يكون $H = \frac{1}{2}$ وإذا كان هذا الفرض صحيحاً يكون توزيع عدد الذكور في العائلات ذوات الأربعة الأطفال هو توزيع ذى الحدين دليلاً ٤ ، $\frac{1}{2}$. وكما في المثال (٣ - ٢) يتولد لدينا التوزيع الآتى :

عدد الأطفال الذكور في العائلة س :	٠	١	٢	٣	٤
احتمال هذا العدد ل :	$\frac{1}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{6}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{1}{16}$

ونظراً لأن عدد العائلات في العينات المأخوذة ٣٢٠ فإن التكرارات النظرية التى يمكن مقارنتها بالتكرارات المشاهدة تتج بضرب هذه الاحتمالات في ٣٢٠ ونحصل بذلك على التوزيع التكرارى النظرى الآتى :

عدد الأطفال في العائلة س : ٠ ١ ٢ ٣ ٤
 العدد المتوقع للعائلات ق : ٢٠ ٨٠ ١٢٠ ٨٠ ٢٠ (المجموع ٣٢٠)

ونقول هنا أننا قد وفقنا توزيع ذى الحدين للتوزيع التكرارى المعطى .

بمقارنة التكرارات النظرية \bar{p} بالتكرارات المشاهدة \bar{p} وهى :

ق : ٢٠ ٨٠ ١٢٠ ٨٠ ٢٠
 ك : ١٣ ٤٣ ٩٢ ١١٢ ٦٠ (المجموع ٣٢٠)

نجد أن هناك تفاوتاً كبيراً بينها . وعلى فرض توفر شرط العشوائية والاستقلال فإن هذا التفاوت يعزى إلى خطأ الفرض أن $\bar{p} = \frac{1}{4}$.

وينبغى أن نشير هنا مرة أخرى إلى أن حكمنا هذا هو حكم ذاتي قد لا يكون هو الحكم الصحيح ، أما الحكم الموضوعى فيستلزم اللجوء إلى أحد الاختبارات الإحصائية المناسبة مثل اختبار χ^2 الذى سندرسه بعد . انظر المثال (٦ - ٨) في البند (٦ - ٧ - ٢) .

تمارين (٣ - ١)

١ - في نوع من أبصال الزهور المعروف أن معدل الإنبات ٩٥% . تبعاً هذه الأبصال وتباع في عبوات يحتوى كل منها على ١٠ أبصال . إذا سحب أحد هذه العبوات عشوائياً وزرع ما بها من أبصال فما احتمال كل من الحدين الآتين :
 (أ) لا تنبت أى بصلة .

(ب) تنبت بصلة واحدة على الأقل ؟

٢ - معدل الإصابة بمرض ما في نوع من البقر ٢٥% اختبرت عينة عشوائية من ٨ بقرات . أوجد :

(أ) احتمال أن تكون بقرتان بالضبط مصابتين .

(ب) الوسط الحسابي والتباين لعدد البقرات المصابة في العينات من الحجم ٨ .
لماذا ينبغي أن نفترض هنا أن هذا المرض غير معد للبقر ؟

٣ - احتمال إصابة هدف ثابت ٠,٢ . إذا أطلقت ٥ طلقات مستقلة على هذا الهدف فما احتمال إصابته مرة واحدة على الأقل ؟

٤ - لاختبار الفرض القائل أن نسبة الحصص الجرائنية إلى مجتمع الحصص على أحد الشواطئ هو $0,٢ =$ أخذت من هذا الشاطئ ١٠٠ عينة عشوائية بكل منها ثلاث حصص وحسب عدد الحصص الجرائنية بكل عينة فنتج التوزيع التكراري المدون في المثال (٣ - ٤) وهو :

عدد الحصص الجرائنية في العينة : ٠ ١ ٢ ٣
عدد العينات : ٥٨ ٣٣ ٧ ٢

اختبر ما إذا كانت هذه البيانات تدعم الفرض المذكور على فرض أن توزيع عدد الحصص الجرائنية هو توزيع ذي الحدين .

(٣ - ٤) توزيع بواسون : POISSON DISTRIBUTION

توزيع بواسون هو توزيع احتمال لمتغير عشوائي وثاب μ تأخذ دالة كتلة احتمال الصورة

د (س) = $\frac{\mu^s}{s!} e^{-\mu}$ حيث $s = 0, 1, 2, \dots, \infty$ (٨)
وحيث μ أساس اللوغاريتمات الطبيعية ($\mu = 2,71828$ تقريباً)
ولهذه الدالة دليل واحد هو العدد μ وبالتالي يتحدد التوزيع تماماً إذا عرفت قيمة μ . فمثلاً حين $\mu = 2$ يكون التوزيع كالتالي :

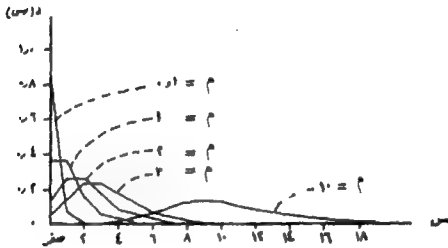
س : ٠ ١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ...
د (س) : e^{-2} $2e^{-2}$ $\frac{2^2}{2!}e^{-2}$ $\frac{2^3}{3!}e^{-2}$ $\frac{2^4}{4!}e^{-2}$ $\frac{2^5}{5!}e^{-2}$...
أي د (س) : ٠,١٣٥ ٠,٢٧١ ٠,٢٧١ ٠,١٨٠ ٠,٠٩٠ ٠,٠٣٦ ٠,٠١٢ ...

ومن المميزات الرئيسية لتوزيع بواسون أن
الوسط الحسابي = التباين = μ

(٩)

ملاحظة (١) :

مجموعة قيم المتغير البواسوني μ هي مجموعة لا نهائية $\{0, 1, 2, \dots\}$
إلا أنه بعد قيمة معينة μ تتوقف على الدليل μ ، تتناقص احتمالات هذه القيم تدريجياً
حتى تكاد تنعدم كما يشير إلى ذلك الشكل (٣ - ٢) الآتي :



الشكل (٣ - ٢) المضاعفات التكرارية لتوزيع بواسون لقيم مختلفة للوسط الحسابي μ

ملاحظة (٢) :

هناك جداول تعطى قيم $e^{-\mu}$ لبعض قيم μ - انظر الجدول (٤) بملحق
الكتاب - كما أن هناك جداول تعطى الاحتمالات والاحتمالات المتجمعة
 $L(\mu = \lambda)$ ، $L(\mu \geq \lambda)$ لتوزيع بواسون لبعض قيم الدليل μ والعدد λ -
انظر الجدول (٥) بملحق الكتاب .

يستفاد من توزيع بواسون في الموضوعين المتقدمين بالبندين الآتيين .

(٣ - ٤ - ١) توزيع بواسون كتقريب لتوزيع ذى الحدين :

نستطيع رياضياً إثبات أنه بوضع $m = n$ في توزيع ذى الحدين المعروف بالدالة (٤) فإنه يؤول إلى توزيع بواسون المعروف بالدالة (٨) حين تقترب n من اللانهاية وتقترب n من الصفر .

وهذا يعني من الناحية العملية أنه حين يكون حجم العينة n كبيراً والاحتمال الثابت n صغيراً فإن الاحتمالات في توزيع ذى الحدين يمكن إيجادها بالتقريب من الدالة (٨) بدلا من الدالة (٤) مع وضع $m = n$ أي بحيث يكون متوسط توزيع بواسون مساوياً لمتوسط توزيع ذى الحدين . وقد وجد أن هذا التقريب يكون جيداً ، أى يمكن التجاوز عن الخطأ الناشئ عنه إذا كانت :

$$(n \leq 50, n \geq 5) \text{ أو } (n \geq 0.1, n \geq 5) \quad (10)$$

إن هذا التقريب من شأنه تبسيط حساب احتمالات ذى الحدين إذ أن حسابها من الدالة (٨) أسهل بكثير من حسابها من الدالة (٤) خاصة إذا كانت n خارج الحدود التي وضعت لها جداول ذى الحدين .

مثال (٣ - ٦) :

إذا كان احتمال أن يحدث رد فعل سيء للشخص الذى يحقن بمصل ما هو 0.001 فاحسب احتمال أن تحدث ٤ حالات ردود فعل سيئة من بين ٢٠٠٠ شخص يحقنون بهذا المصل .

الحل :

توزيع عدد الأشخاص الذين يحدث لهم ردود فعل سيئة هو توزيع ذى الحدين دليلاً $n = 2000$ ، $n = 0.001$ ودالة كتلة احتماله هي :

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} (0.001)^x (0.999)^{n-x} \text{ حيث } x = 0, 1, 2, \dots, 2000$$

احتمال ٤ حالات ردود فعل سيئة هو :

$$ل (س = ٤) = د (٤) = ٠,٠٠١ (٠,٩٩٩) = ٠,١٠٥٠$$

من الواضح أن حساب هذا الاحتمال لم يكن سهلاً فقد تطلب استخدام اللوغاريتمات والحاسب ، غير أنه يمكننا إيجاد الاحتمال المطلوب تقريباً من توزيع بواسون نظراً لتوفر أحد شروط التقريب وهو أن $٢٠٠٠ = ٢$ أكبر من ٥٠ ،
 $٢ = ٢$ أصغر من خمسة .

$$\begin{aligned} \text{نضع } م = ن ح = ٢٠٠٠ \times ٠,٠٠١ = ٢ \\ \text{حيث } م = ٠, ١, ٢, \dots \\ د (س) = \frac{٢^س}{س!} e^{-٢} \\ ٠,٠٩٠٢ = ٠,١٣٥٣ \times \frac{٢}{١} = ٢ - \frac{٢}{١} = \end{aligned}$$

وهذا الناتج يمكن إيجاده من الجدول (٥) وهو قريب جداً من الناتج السابق وهو ٠,١٠٥٠

(٣ - ٤ - ٢) توزيع بواسون كنموذج لتوزيع الأحداث النادرة :

بصرف النظر عن الدور الذي يلعبه توزيع بواسون كتقريب لتوزيع ذي الحدين فإن له شخصيته واستخداماته الخاصة ، فقد دلت التجربة على أنه يصلح كنموذج احتمال لبعض الأحداث التي تقع عشوائياً عبر الزمان أو المكان .

وعلى سبيل المثال وجد أنه باختيار قيمة مناسبة للدليل م فإن توزيع المتغير - الذي يعبر عن عدد جسيمات ألفا التي تنبعث من مادة مشعة في وحدة زمن مناسبة - يمكن أن يعتبر توزيعاً بواسونياً . وبالمثل للمتغيرات التي تعبر (في فترات زمن مناسبة) عن عدد التفجيرات الفجائية في الصفات الوراثية - عدد حوادث الطائرات - تتابع طلبات الإغاثة على مراكز الإسعاف - تتابع المكالمات التليفونية على مراكز الهاتف - عدد ولادات ٤ توائم في مدينة - عدد حالات الانفلاق

التي ترد إلى مستشفى كبير ... كذلك المتغيرات التي تعبر عن عدد الطحالب في مربع على سفح جبل - عدد الطفيليات على أحد العوائل - عدد البكتريا من نوع معين على طبق بترى Petri plate - عدد الأخطاء المطبعية في صفحة كتاب - الخلل الذى يحدث في جهاز معقد ...

إن مثل هذه الحالات ينظر إليها نمطياً على أنها عملية تولد عدداً من التغيرات أو الأحداث (مثل ظهور جسيم الفا ، طحلب ، بكتريا) في وحدة زمن أو وحدة فراغ مناسبة ، وهذه الوحدة مقسمة إلى عدد كبير جداً من الأجزاء الصغيرة جداً نسبيها لحظات instants (سواء كان التقسيم من حيث الزمن أو من حيث الفراغ) وكل من هذه اللحظات يعتبر محاولة يمكن أن يقع فيها الحدث أو لا يقع ، وبالتالي فإن هناك إمكانية وقوع الحدث في عدد كبير من المرات .

ويتخذ المتغير توزيعاً بواسونياً إذا توفر الشرطان الآتيان :

(أولاً) ندرة الحدث :

يشترط أن يكون معدل وقوع الحدث ، أى متوسط عدد مرات وقوعه في وحدة الزمن أو وحدة الفراغ ، صغيراً بالنسبة لعدد المحاولات التي يمكن أن تسفر عن وقوع الحدث . وهذا ما يجعلنا نصف الحدث بأنه حدث نادر . اعتبر مثلاً توزيع المتغير x الذى يعبر عن عدد البكتريا في طبق بترى : إن وحدة الفراغ هنا هي طبق بترى الذى ننظر إليه على أنه مكون من عدد كبير من المساحات الميكروسكوبية (لحظات) كل منها قد يشتمل أو لا يشتمل على بكتريا . وجد بالتجربة أن متوسط عدد البكتريا في الطبق هو عدد متواضع بالرغم من أن هناك بالفعل عدداً لا نهائياً من المحاولات التي يمكن أن تنتج عنها بكتريا ، وعلى هذا فالحدث هو حدث نادر . كذلك اعتبر المتغير الذى يعبر عن عدد الأخطاء في صفحة كتاب جيد الطبع . إن هذه الصفحة تتألف من عدد كبير من الكلمات (لحظات) كل منها قد يقع في كتابتها خطأ أو لا يقع وعلى ذلك فهناك إمكانية

وقوع عدد كبير من الأخطاء ، ولكن نظراً لأن معدل وقوع الخطأ هو عدد صغير جداً نعتبر أن هذا الحدث هو حدث نادر .

واعتبار الحدث نادر هو مسألة نسبية تتطلب أن تكون وحدة الزمن أو وحدة الفراغ كبيرة كبيراً كافياً ، فمثلاً عندما نعد الطحالب على مربع ما يجب أن يكون هذا المربع كبيراً كبيراً كافياً يسمح بنمو عدد وافر من الطحالب مادامت الظروف البيولوجية مهيأة لذلك فلا يجوز مثلاً أن تكون مساحة المربع ١ سم^٢ فقط فهذه المساحة أصغر من جعل الطحالب تتوزع بواسونياً . كذلك في تسجيل حالات الانفلوانزا التي ترد إلى مستشفى كبير لا ينبغي أن تقل وحدة الزمن عن أسبوع مثلاً ، لإعطاء الفرصة لورود حالات كافية .

(ثانياً) استقلال الأحداث (عشوائية وقوع الأحداث) :

يشترط أن يكون وقوع الأحداث عشوائياً بمعنى أن يكون احتمال وقوع أو عدم وقوع الحدث في أى لحظة مستقلاً عن وقوعه أو عدم وقوعه في أى لحظة سابقة أو لاحقه غير متداخلة معها وبذلك لا يتأثر وقوع الحدث إلا بالعوامل العشوائية وحدها . فمثلاً وجود طحلب في جزء من مربع ما لا ينبغي أن يزيد أو ينقص من احتمال نمو طحالب أخرى في أى جزء آخر من المربع . كذلك تسجيل حالة انفلوانزا في لحظة ما لا يجب أن يؤثر في احتمال تسجيل حالات تالية .

تحت هذين الشرطين اتضح أنه بتقريب جيد إلى حد كبير أو بالضبط يمكن إيجاد احتمال عدد مرات وقوع الحدث في أى فترة زمنية أو فراغية بواسطة توزيع بواسون دليله :

$$P_n = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!} \quad (11)$$

أى من الدالة $P_n = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!}$ حيث $\lambda = 0, 1, 2, \dots$

وحيث د (س) هو احتمال وقوع الحدث س من المرات خلال فترة زمنية أو فراغية ز وحيث ك مقدار ثابت موجب يعبر عن متوسط وقوع الحدث في وحدة الزمن أو الفراغ ، وهذا المقدار يحسب تجزيياً .

مثال (٣ - ٧) :

إذا فرض أن البكتريا من نوع معين تتواجد في الماء بمعدل ٢ بكتريا في السنتيمتر المكعب وأن عدد البكتريا يتوزع توزيعاً بواسونياً فأوجد احتمال أنه في عينة عشوائية من ٣ سم^٣ من الماء : (أ) لا يوجد بكتريا (ب) يوجد ٣ بكتريا على الأقل .
الحل :

لدينا ك = ٢ بكتريا في السنتيمتر المكعب ، ز = ٢ سم^٣ .

$$\text{إذن م} = ٢ \times ٢ = ٤$$

$$\text{د (س)} = \frac{e^{-\text{م}}}{\text{س}!} \text{ حيث س} = ٠, ١, ٢, \dots$$

$$(أ) \text{ احتمال عدم وجود بكتريا في } ٢ \text{ سم}^٣ = \text{د (٠)} = e^{-٤} = ٠,٠١٨٣٢.$$

$$(ب) \text{ احتمال وجود ٣ بكتريا على الأقل في } ٢ \text{ سم}^٣ = ١ - \text{ل (س} \leq ٣ \text{)} .$$

$$= ١ - \text{ل (س} \geq ٢ \text{)} = ١ - [\text{د (٠)} + \text{د (١)} + \text{د (٢)}]$$

$$= ١ - (١ + ٤ + ٨) e^{-٤} = ١ - ١٣ e^{-٤} .$$

$$= ٠,٧٦١٨٤$$

مثال (٣ - ٨) :

إذا كان متوسط عدد السيكلوب في لتر من ماء بحيرة هو ٢ فما احتمال وجود

٥ سيكلوب على الأقل في عينة من ٣ لترات من ماء البحيرة ؟

(السيكلوب كائن دقيق يطفو على الماء وتقتات عليه الأسماك) .

الحل :

لدينا ك = ٢ سيكلوب في اللتر ، م = ٣ لتر

$$\text{إذن } ٢ = ٣ \times ٢ = ٦$$

$$\text{، د (س) = } \frac{٦}{س!} \text{ هـ حيث } س = ٠ ، ١ ، ٢ ، \dots$$

$$\begin{aligned} \text{احتمال وجود } ٥ \text{ سيكلوب على الأقل} &= ل (س \leq ٥) = ١ - ل (س \geq ٤) \\ &= ٠,٢٨٥ - ١ = \\ &= ٠,٧١٥ = \end{aligned}$$

(٣ - ٤ - ٣) اختبار استقلال الأحداث النادرة (أو اختبار العشوائية) :

عند تناول حدث نادر يهمنا في كثير من الأحيان دراسة استقلال الأحداث أى دراسة ما إذا كان وقوع الحدث في لحظة ما يزيد أو ينقص من احتمال وقوعه في لحظة تالية كما هو الحال مثلاً في دراسة توزيع سوسة الفاصوليا أو توزيع حشرة على نوع من الذباب . ونظراً لأن الحدث النادر لا يتوزع بواسونياً إلا إذا كانت الأحداث مستقلة فإننا نستطيع الحكم على استقلال الأحداث عن طريق اختبار ما إذا كان التوزيع بواسونياً ، وهذا الاختبار يمكن إجراؤه بتوفيق توزيع بواسون لتوزيع تكرارى مشاهد في تجربة كما فعلنا في حالة ذى الحدين في البند (٢ - ٣ - ١) والمثال (٣ - ٤) . فإذا كانت المطابقة حسنة دل ذلك على أن التوزيع بواسونياً وبالتالي تكون الأحداث مستقلة وتقع عشوائياً ، أما إذا لم تكن المطابقة حسنة فنحكم بعدم عشوائية وقوع الأحداث .

مثال (٣ - ٩) :

أجريت تجربة لاختبار توزيع خلايا الخميرة في ٤٠٠ مربع من جهاز الـ hemacytometer (صندوق لعد الخلايا) ووجد التوزيع التكرارى المبين بالعمودين الأول والثانى من الجدول (٣ - ٢) . بالتأمل في هذين العمودين نلاحظ أمرين هامين هما :

(أ) أن ٧٥ من هذه المربعات أى حوالى ١٩٪ منها لا تشتمل على أى خلية ومعظم المربعات (٥٦٪) تحمل إما خلية واحدة أو خليتين وأن ١٧ مربعاً فقط (أى حوالى ٤٪) تحتوى على ٥ خلايا أو أكثر .

(ب) الوسط الحسابي $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$

$$\frac{1}{400} = \frac{9 \times 1 + \dots \times 2 \times 121 + 1 \times 103 + 0 \times 75}{400}$$

$$1,8 = \frac{720}{400}$$

الجدول (٣ - ٢)

التكرارات المشاهدة والتكرارات البواسونية المتوقعة لعدد خلايا الحميرة في ٤٠٠ مربع من جهاز الهيماسيومتر

عدد الخلايا في المربع س	التكرارات المشاهدة ك	التكرارات النسبية المتوقعة ل = د (س)	التكرارات المتوقعة ق = ك × ٤٠٠	الانحرافات ك - ق
٠	٧٥	٠,١٦٥٣	٦٦,١	+
١	١٠٣	٠,٢٩٧٥	١١٩,٠	-
٢	١٢١	٠,٢٦٧٨	١٠٧,١	+
٣	٥٤	٠,١٦٠٧	٦٤,٣	-
٤	٣٠	٠,٠٧٢٣	٢٨,٩	+
٥	١٣	٠,٠٢٦٠	١٠,٤	+
٦	٢	٠,٠٠٧٨	٣,١	-
٧	١	٠,٠٠٢٠	٠,٨	+
٨	٠	٠,٠٠٠٤	٠,٢	-
٩	١	٠,٠٠٠١	٠,٠٤	-
	٤٠٠	٠,٩٩٩٩	٣٩٩,٩	

أى أن متوسط عدد الخلايا في المربع هو ١,٨ خلية وهذا عدد صغير فعلا بالنسبة لسعة كل مربع وبالنسبة لعدد الخلايا التي يحتمل أن تظهر في أى من المربعات . من هذا يحق لنا أن نعتبر أن الحدث هو حدث نادر ونتوقع بالتالى أن يكون توزيعه بواسونياً إذا توفر شرط الاستقلال . ولاختبار هذا الشرط نوفق توزيع بواسون للتوزيع التكرارى المشاهد مع تقدير الدليل م لذلك التوزيع من العينة أى نأخذ $m = 1,8$ فتكون دالة كتلة الاحتمال :

$$D(s) = \frac{1,8^s}{s!} e^{-1,8} \text{ حيث } s = 0, 1, 2, \dots$$

نحسب الاحتمالات $D(0)$ ، $D(1)$ ، $D(2)$ ، ... كما في العمود الثالث من الجدول (٣ - ٢) ثم نضرب كلا من هذه الاحتمالات (التكرارات النسبية المتوقعة) في حجم التوزيع التكرارى المشاهد وهو ٤٠٠ فنحصل على التكرارات المتوقعة المبينة بالعمود الرابع .

بمقارنة التكرارات المشاهدة بالتكرارات النظرية نجد أن هناك مطابقة حسنة بين التوزيع التكرارى المشاهد وتوزيع بواسون دليله ١,٨ ولا يوجد نمط واضح لانحرافات التكرارات المشاهدة عن التكرارات المتوقعة لها كما يبدو من العمود الخامس وإن كان الحكم الموضوعى لهذا التطابق لا يتأتى إلا بأحد الاختبارات الإحصائية التي سندرسها بعد . انظر المسألة (٦) في تمارين (٦ - ٢) .

ونستنتج من هذا أن توزيع خلايا الخميرة هو توزيع بواسونى وهذا يتضمن أن الأحداث هنا تقع عشوائياً أى مستقلة عن بعضها .

وهناك اختبار آخر يساعد على بيان ما إذا كان التوزيع بواسونياً دون الالتجاء إلى عملية التوفيق ، ويعتمد هذا الاختبار على الخاصة الهامة التي جاءت في المساواة (٩) عن تساوى التباين والوسط الحسابي في التوزيعات البواسونية . وحين نتناول

بنية عشوائية من مجتمع بواسوني نتوقع وجود هذا التساوى بالتقريب أى نتوقع أن تكون النسبة بين التباين والوسط الحسابي المحسوبين من العينة قريبة من الواحد الصحيح . في المثال الأخير نجد أن :

$$\text{تباين العينة ع}^2 = \frac{1}{1 - \rho} \left[\frac{(\rho \text{ كـ } \rho \text{ سـ})}{\rho} \right]$$

$$= \frac{1}{399} \left[\frac{720}{400} - (81 \times 1 + \dots + 4 \times 121 + 1 \times 103 + 0 \times 75) \right]$$

$$= 1,965$$

وهذا العدد قريب من الوسط الحسابي ١,٨ كما أن النسبة بينهما $\frac{1,965}{1,8} = 1,092$

قريبة من الواحد وهذا يدعم استنتاجنا السابق بأن توزيع المتغير هو توزيع بواسوني وما يتبع ذلك من عشوائية الأحداث . هذا ويمكن اختبار كبير أو صغر النسبة ع^٢ / س^٢ عن الواحد بطريقة موضوعية عن طريق اختبارات الذى سندرسه بعد . انظر المثال (٦ - ٥) بالبند (٦ - ٦ - ٤) .

نمط التجمع ونمط التناثر :

إذا اتضح أن التكرارات المشاهدة تنحرف عن التكرارات المتوقعة لها بشكل جوهري أو أن النسبة ع^٢ / س^٢ أكبر أو أصغر من الواحد بشكل جوهري فإن هذا يعني أن الأحداث لا تقع مستقلة عن بعضها بل يؤثر وقوع أو عدم وقوع أحدها في وقوع أو عدم وقوع الأحداث الأخرى . وهذا يدعو إلى التساؤل عما إذا كانت التكرارات المشاهدة تنم عن نمط خاص وعن تفسير ما قد يوجد من أنماط . وهذا التفسير لا يستطيع التحليل الإحصائي وحده القيام به فالمرجع الأول في هذا هو معرفة الباحث بظروف التجربة وطبيعة المتغيرات والعوامل التي تؤثر فيها .

وهناك نوعان رئيسيان من الأنماط هما :

CLUMPING

(١) نمط التجمع :

في هذا النمط تكون التكرارات المشاهدة أكبر من التكرارات المتوقعة عند ذيلي التوزيع وأصغر منها عند الوسط كما هو الحال في التجربة الملخصة بالجدول (٣ - ٣) الآتي الذي يعرض توزيع الحلم المائي water mite على ٥٨٩ هاموشة . ويوصف هذا النمط بأنه مُعْدَى contagious بمعنى أن وقوع حدث (ظهور حلمة مثلا) يرفع من احتمال وقوع أحداث أخرى والعكس بالعكس . وفي هذه الحالة تكون النسبة بين التباين والوسط الحسابي في المجتمع أكبر من الواحد .

REPULSION

(٢) نمط التافر :

في هذا النمط تكون التكرارات المشاهدة أصغر من التكرارات المتوقعة عند الذيلين وأكبر منها عند الوسط كما هو الحال في التجربة الملخصة بالجدول (٤ - ٣) الذي يسجل توزيع السوس على ١١٢ نبات فاصوليا . وهنا يكون وقوع الحدث (خروج سوسة مثلا) عائقاً لوقوع أحداث أخرى فيشتمل التوزيع على عدد قليل من المجموعات المتجانسة وعدد كبير من المجموعات المختلطة . وفي هذه الحالة تكون النسبة بين التباين والوسط الحسابي في المجتمع أصغر من الواحد .

بعد حساب الوسط الحسابي والتباين للتوزيع المشاهد نجد ما يلي :

$$\text{بالنسبة للتجربة الأولى : } \bar{x} = 0.9709 / 0.4343 = 2.236$$

هذه النسبة أكبر جوهرياً من الواحد . انظر البند (٦ - ٦ - ٤) .

$$\text{بالنسبة للتجربة الثانية : } \bar{x} = 0.269 / 0.4643 = 0.579$$

هذه النسبة أصغر جوهرياً من الواحد . انظر البند (٦ - ٦ - ٤) .

الجدول (٣-٣)
التكرارات المشاهدة والتكرارات البواسونية المتوقعة
لعدد الخلم على ٥٨٩ هاموشه (نمط تجمع)

عدد الخلم على الهاموشة	ك	و	ك - و
٠	٤٤٢	٣٨٠,٧	+
١	٩١	١٦٦,١	-
٢	٢٩	٣٦,٢	-
٣	١٤	٥,٣	+ {
٤	٤	٠,٦	+ {
٥	٦	٠,١	+ {
٦	٢	٠,٠	+ {
٧	٠	٠,٠	٠
٨	١	٠,٠	+ }
	٥٨٩	٥٨٩	

الجدول (٤-٣)
التكرارات المشاهدة والتكرارات البواسونية المتوقعة
لعدد السوس الذي يخرج من ١١٢ نبات فاصوليا (نمط تناثر)

عدد السوس على النبات	ك	و	ك - و
٠	٦١	٧٠,٤	-
١	٥٠	٣٢,٧	+
٢	١	٧,٦	- {
٣	٠	١,٢	- {
٤	٩	٠,١	- }
	١١٢	١١٢	

تمارين (٣ - ٢)

- (١) في توزيع بواسون دليله $\mu = ٧٢$ ، أوجد :
- ل (س = ٠) ، ل (س = ١) ، ل (س = ٢) ، ل (س < ٢) .
- (اعتبر أن $e^{-٧٢} = ٠,٤٨٦٨$)

(٢) دلت الخبرة الطويلة على أن السفن تدخل في إحدى المواني بمعدل ٣ سفن في الساعة . إذا كان توزيع عدد السفن التي تدخل هذا الميناء هو توزيع بواسون فأوجد احتمال أنه في فترة زمنية قدرها دقيقتان (أ) لا تدخل أى سفينة (ب) تدخل سفينتان على الأقل .

(٣) إذا علم أن الجسيمات تنبعث من مصدر مشع بمعدل ٥,٥ جسيماً في الثانية وأن عدد هذه الجسيمات يتوزع بواسونياً فاحسب احتمال انبعاث ٣ جسيمات أو أكثر في فترة زمنية طولها ٦ ثواني .

(٤) الجدول الآتي يعرض توزيع عدد الحلم (المايث المائية) water mite على نوع من الذباب . وفق توزيعاً بواسونياً لهذا التوزيع واستنتج أن وقوع الأحداث (ظهور الحشرات على الذبابة) ليس عشوائياً . أوجد تباين التوزيع التكرارى المشاهد وقارنه بالوسط الحسابي لتدعيم استنتاجك (ستجد أن النسبة بين التباين والوسط الحسابي ٢,٢٢٥) .

عدد الحشرات على الذبابة ٠ ١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ المجموع

التكرارات المشاهدة ٤٢٢ ٩١ ٢٩ ١٤ ٤ ٦ ٢ ١ ٠ ٥٨٩

(٥) أجب عن نفس السؤال السابق مستخدماً التوزيع التكرارى الآتي الذى يعرض توزيع عدد السوس على قرن فاصوليا (قيس هذا العدد بعدد الثقوب التي نتجت في قرن الفاصوليا أثناء خروج اليرقات منها) .

عدد السوس في القرن ٠ ١ ٢ ٣ ٤ المجموع

التكرارات المشاهدة ٦١ ٥٠ ١٠ ٠ ٠ ١١٢

(٦) يدخل الزبائن في أحد المحلات بمعدل ٣٠ شخصاً في الساعة فإذا كان توزيع عدد الزبائن هو توزيع بواسوني فأوجد احتمال أنه في فترة زمنية قدرها دقيقتان (أ) لا يدخل أحد (ب) يدخل شخصان على الأقل .

(٣ - ٥) توزيع باسكال : PASCAL DISTRIBUTION

في توزيع ذي الحدين نعتبر أن حجم العينة هو عدد ثابت n ونعالج متغيراً عشوائياً x يعبر عن عدد مرات وقوع الحدث في n من المحاولات ، إلا أن هناك مشكلات تتطلب عكس هذا الوضع فيكون حجم العينة متغيراً عشوائياً x ويكون عدد مرات وقوع الحدث هو عدد ثابت a محدد من قبل ويكون المطلوب هو إيجاد احتمالات قيم المتغير x التي تسمح بوقوع الحدث هذا العدد المحدد من المرات . (يلاحظ أن المعالجة هنا تكون من النوع التتابعى sequential sampling)

أى أننا نعالج متغيراً عشوائياً وثاباً x يعبر عن العدد اللازم من المحاولات لكي يقع الحدث عدداً محدداً a من المرات .

وبطبيعة الحال لا يجب أن يقل عدد المحاولات عن العدد a لأن وقوع الحدث a من المرات يتطلب محاولة على الأقل ، وعلى ذلك تبدأ قيم x بالعدد a . أى أن هذا المتغير لا يأخذ إلا القيم a ، $a+1$ ، $a+2$ ، ... فإذا كان المطلوب وقوع الحدث a مرات مثلاً فإن x تأخذ القيم a ، $a+1$ ، $a+2$ ، ...

تحت نفس افتراضات العشوائية وثبات الدليل a واستقلال الأحداث يمكن أن نثبت رياضياً أن دالة كتلة الاحتمال لهذا المتغير تأخذ الصورة الآتية :

$$d(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad \text{حيث } x = 0, 1, 2, \dots \quad (١٢)$$

وحيث $0 < \lambda < \infty$ ، $\lambda = 1 - p$ ، p مقدار ثابت

ويسمى توزيع الاحتمال حينئذ بتوزيع باسكال دليلا ح ، أ كما يسمى المتغير سـ^١ بمتغير باسكال . يلاحظ أن الحدث يقع أ من المرات المستقلة باحتمال ح في كل مرة وأنه يفشل في س - أ من المرات المستقلة باحتمال ك في كل مرة ، وأن المرة الأخيرة هي نجاح دائما . كما يلاحظ أن عدد الطرق التي تقع فيها (أ - ١) نجاحات من (س - ١) محاولات هو ${}^{س-١}ق$ وعلى ذلك فإن احتمال وقوع الحدث أ من المرات (وفشل س - أ من المرات) هو ${}^{س-١}ق \cdot ح^أ \cdot ك^{س-أ}$

مثال (٣ - ١٠) :

المعروف أن ٦٠٪ من المرضى بمرض معين يستجيبون للدواء ما بعد تناوله لمدة أسبوع . يختار مرضي بهذا المرض الواحد بعد الآخر في ترتيب عشوائي ليتناولوا الدواء (لمدة أسبوع) حتي نحصل على ٥ استجابات صحيحة :

(أ) ما احتمال أن يكون العدد المختار من المرضى سبعة ؟

(ب) ما احتمال أن يكون العدد المختار من المرضى عشرة ؟

الحل :

إن عدد المرضى اللازمين للحصول على خمس استجابات صحيحة هو متغير عشوائي سـ له توزيع باسكال دليلا ٠,٦ ، ٥ ودالة كتلة احتماله :

$$د(س) = {}^{س-١}ق \cdot (٠,٦)^٥ \cdot (٠,٤)^{س-٥} \quad \text{حيث } س = ٥, ٦, ٧, \dots$$

$$(أ) ل (س=٧) = د(٧) = {}^٦_٤ ق \cdot (٠,٦)^٥ \cdot (٠,٤)^٢$$

$$= ٠,١٨٦٦$$

$$(ب) ل (س=١٠) = د(١٠) = {}^٩_٤ ق \cdot (٠,٦)^٥ \cdot (٠,٤)^٥$$

$$= ٠,١٠٠٣$$

ملاحظة :

إن الحالات التي يظهر فيها متغير باسكالى تنشأ في المعتاد عندما يستخدم ما يسمى بالمعينة التتابعية sequential sampling حيث لا يحدد حجم العينة مسبقاً ، بل تختار المشاهدات في تتابع عشوائى الواحدة بعد الأخرى وتتوقف هذه العملية حين يتجمع عدد كاف من المشاهدات يمكننا من اتخاذ قرار بحسب قاعدة معينة توضع سلفاً . ففي المثال (٣ - ١٠) نفرض أن المطلوب اختبار صحة الفرض أن ٦٠٪ من المرضى يستجيبون للدواء ، وأن القاعدة التي وضعت لتحديد صحة أو خطأ هذا الفرض كالآتي :

« اختر المرضى الواحد بعد الآخر بترتيب عشوائى ليتناول الدواء وسجل العدد س لعدد المرضى المختبرين حتى تحصل على ٥ استجابات صحيحة . ارفض الفرض إذا كان الاحتمال $L(S \leq s)$ يساوى أو يقل عن ٠,٠٥ ، وإلا فاقبل الفرض » .

إذا استخدمت هذه القاعدة فماذا يكون حكمنا عن الفرض إذا وجد في تجربة ما أن عدد المرضى المختبرين حتى الوصول إلى ٥ استجابات صحيحة هو :

(أولاً) $S = 8$. (ثانياً) $S = 13$

الحل :

$$\begin{aligned} \text{(أولاً) } L(S \leq 8) = 1 - [L(S > 8) - 1] &= 1 - [D(8) + D(9) + D(10) + D(11) + D(12)] \\ &= 1 - [0,6 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6 + 0,4 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6 + 0,4 \times 0,4] \\ &= 1 - [0,6 + 0,4 + 0,4 + 0,6 + 0,4] = 0,08 \end{aligned}$$

بما أن ٠,٠٨ أكبر من ٠,٠٥ نقبل الفرض أن نسبة الشفاء ٦٠٪

$$\begin{aligned} \text{(ثانياً) } L(S \leq 13) = 1 - [L(S > 13) - 1] &= 1 - [D(13) + D(14) + D(15) + D(16) + D(17) + D(18) + D(19) + D(20)] \\ &= 1 - [0,6 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6 + 0,4 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6 + 0,4 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6 + 0,4 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6] \\ &= 1 - [0,6 + 0,4 + 0,4 + 0,6 + 0,4 + 0,6 + 0,4 + 0,6] = 0,03 \end{aligned}$$

بما أن ٠,٠٣ أصغر من ٠,٠٥ نرفض الفرض أن نسبة الشفاء ٦٠٪ .

(٣ - ٦) التوزيع الهندسي : THE GEOMETRIC DISTRIBUTION

هو حالة خاصة من توزيع باسكال تكون فيها عدد مرات وقوع الحدث $1 =$ ويرمز المتغير x هنا إلى عدد المحاولات اللازمة لوقوع الحدث لأول مرة . وتنتج دالة كتلة الاحتمال لهذا المتغير بوضع $1 =$ في الصيغة (١٢) أى تكون على الصورة :

$$d(x) = \text{ح ك}^{1-x} \quad \text{حيث } x = 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

ويسمى التوزيع حينئذ بالتوزيع الهندسي أو بتوزيع وقت الانتظار waiting time distribution ولهذا التوزيع دليل واحد هو h . وهو يفيد في دراسة الخواص النادرة للمجتمعات كما هو الحال في أمراض الدم النادرة حيث قد لا نستخدم توزيع ذى الحدين ، لأننا لو حددنا حجم العينة فقد لا يقع الحدث في أى عنصر منها وبذلك لا نحصل على معلومات كافية عن الحدث ، بينما التوزيع الهندسي يضمن وقوع الحدث .

يمكن أن نثبت رياضياً أن :

$$(14) \quad \frac{1}{h} = \text{الوسط الحسابي للتوزيع}$$

$$(15) \quad \frac{k}{h} = \text{تباين التوزيع}$$

مثال (٣ - ١١) :

في إحدى المنتجات الصناعية المعروف أنه في المتوسط توجد وحدة معيبة في كل ١٠٠ وحدة . نختار وحدات عشوائياً ونختبر الواحدة بعد الأخرى إلى أن تظهر أول وحدة معيبة . (أ) ما احتمال اختبار ٥ وحدات حتي الوصول إلى الوحدة المعيبة ؟ (ب) ما العدد المتوقع للاختبارات اللازمة للعثور على أول وحدة معيبة ؟

الحل :

لدينا توزيع هندسي دليله $ح = ٠,٠١$ وإذن دالة كتلة احتماله
 د (س) = $ح^{س-١} (١-ح) = (٠,٩٩)^{س-١} (٠,٠١)$ حيث $س = ١, ٢, ٣, \dots$

$$(أ) د (٥) = (٠,٩٩)^4 (٠,٠١) = ٠,٠٠٩٦$$

$$(ب) \text{ العدد المتوقع يعني الوسط الحسابي } = \frac{١}{ح} = \frac{١}{٠,٠١} = ١٠٠ \text{ اختبار .}$$

(٣ - ٧) توزيعات الاحتمال المتصلة :

تمتد الأفكار السابقة عن توزيعات الاحتمال للمتغيرات الثابتة إلى حالة المتغيرات المتصلة مع بعض الفروق التي تقتضيها طبيعة كل من هذين النوعين من المتغيرات . فإذا كان $س$ متغيراً حقيقياً من النوع المتصل مداه الفترة (أ ، ب) فإن احتمال أن يأخذ هذا المتغير قيمة محددة $س$ يساوى صفراً ، ذلك لأن أى متغير متصل يأخذ عدداً لا نهائياً من القيم في أى جزء من مداه مهما كان صغيراً .

ولذلك يعرف توزيع الاحتمال في هذه الحالة بواسطة دالة متصلة غير سالبة د حيث :

$$ل(س) = \frac{د(س+\Delta) - د(س)}{\Delta} \quad (١٦)$$

وهذه الصيغة تعني أن احتمال وقوع قيم المتغير $س$ في فترة Δ يساوى تكامل الدالة د على هذه الفترة . إن مثل هذه الدالة تسمى بدالة كثافة الاحتمال probability density function وتمثل بيانياً بالشكل (٣ - ٣) .



الشكل (٣ - ٣) توزيع الاحتمال لمغير متصل

ومن الخواص الرئيسية للمنحني الممثل لأي دالة كثافة احتمال أن مساحة المنطقة الواقعة أسفله وفوق المحور السيني تساوى الواحد الصحيح ، ويمكن رؤية هذا المنحني كخط ممهد لمضلع تكرارى يمثل التكرارات النسبية لتوزيع تكرارى ذى فئات مبني على عدد كبير جداً من المشاهدات موزعة على عدد كبير جداً من الفئات ذوات الأطوال الصغيرة جداً .

ومن تعريف الدالة د نرى أن احتمال وقوع قيم المتغير س بين عددين ج ، د أى في فترة (ج ، د) محتواة في المدى (أ ، ب) يعطى بالتكامل .

$$ل(د \leq س < ج) = \int_{ج}^{د} د(س) . د س \quad (١٧)$$

أى أننا إذا اخترنا عشوائياً قيمة واحدة من قيم المتغير فإن احتمال وقوعها بين عددين ج ، د يعطى بالتكامل المذكور . ومن الواضح أن هذا التكامل يساوى عددياً مساحة الجزء المظلل بالشكل (٣ - ٣) ، كما أنه يعبر عن نسبة قيم المتغير الواقعة بين العددين ج ، د .

ويعرف الوسط الحسابي μ والتباين σ^2 لتوزيع احتمال متغير متصل مداه الفترة
(أ، ب) كالآتي :

$$(18) \quad \int_a^b x \cdot f(x) dx = \mu$$

$$(19) \quad \int_a^b (x - \mu)^2 \cdot f(x) dx = \sigma^2$$

$$\text{أو} \quad \int_a^b x^2 \cdot f(x) dx = \mu^2 + \sigma^2$$

مثال (٣ - ١٢) :

أوجد الوسط الحسابي والتباين لتوزيع احتمال المتغير المتصل الذي دالة كثافة
احتماله هي :

$$f(x) = 6 - x \quad \text{حيث} \quad 1 < x < 7$$

الحل :

$$\int_1^7 x \cdot (6 - x) dx = \mu$$

$$\int_1^7 (6x - x^2) dx = \mu$$

$$\left[3x^2 - \frac{x^3}{3} \right]_1^7 = \mu$$

$$3(7^2 - 1^2) - \frac{1}{3}(7^3 - 1^3) = \mu$$

$$3(48) - \frac{1}{3}(342) = \mu$$

$$144 - 114 = \mu$$

$$\mu = 30$$

ومن أشهر توزيعات الاحتمال المتصلة وأكثرها استخداماً ذلك التوزيع المسمى بالتوزيع المعتدل الذى يلعب دوراً رئيسياً في النظرية الإحصائية ونظرية الاحتمال كما أن هناك توزيعات احتمالات متصلة أخرى تستخدم كنماذج احتمال لبعض المجتمعات ، منها التوزيع المعتدل اللوغاريتمى والتوزيع المعتدل الدائرى وتوزيع جاما والتوزيع الأسى ... وسوف نكتفى بتقديم التوزيع المعتدل والتوزيع المعتدل اللوغاريتمى في الفصل القادم .

الفصل الرابع

التوزيع المعتدل والتوزيع اللوغاريتمى

THE NORMAL DISTRIBUTION AND THE LOGNORMAL DISTRIBUTION

(أولا) التوزيع المعتدل

التوزيع المعتدل هو أهم توزيعات الاحتمال القياسية وأكثرها استخداما ، إذ يؤخذ كنموذج لكثير من المتغيرات المتصلة ، منها أطوال بتلات بعض النباتات - أطوال أجنحة الذباب المنزلى - أطوال وموازن الأطفال عند الولادة - مقادير الدسم فى الزبد الناتج من بعض أنواع الأبقار ... فضلا عن أنه يلعب دورا كبيرا فى بناء نظرية الاحتمال والنظرية الإحصائية .

وقد سمي هذا التوزيع بالتوزيع المعتدل (أو المعتاد أو الطبيعى) لأنه كان يظن فيما مضى أن أية بيانات عن ظواهر الحياة ينبغي أن تمثل لهذا التوزيع وإلا كانت هذه البيانات مشكوكا فيها . إلا أنه ثبت الآن أن الأمر ليس كذلك فهناك كثير من الظواهر ذات توزيعات تختلف عن التوزيع المعتدل . كما يسمى التوزيع بتوزيع جاوس اعترافا بفضل العالم الألماني كارل فردريك جاوس (١٧٧٧ - ١٨٥٥) الذى استنبط التوزيع رياضيا كتوزيع احتمال أخطاء القياس وكان لذلك يسميه

بالقانون الطبيعي للأخطاء normal law of errors ، ويسمى أيضا بتوزيع جاوس - لابلاس اعترافا بجميل العالم الفرنسي بيير سيمون لابلاس (١٧٤٩ - ١٨٢٧) الذى كان أول من اكتشفه وأثبت صلاحيته كنموذج لكثير من الظواهر .

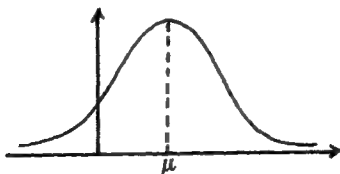
ويعرّف هذا التوزيع بواسطة دالة كثافة الاحتمال المعطاة بالقاعدة :

$$D(u) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(u-\mu)^2} \quad \text{حيث } -\infty < u < \infty , 0 < \sigma < \infty \quad (١)$$

ولهذه الدالة بارامتران هما μ ، σ ، تعبر μ عن الوسط الحسابى وتعبر σ عن الانحراف المعياري للتوزيع . ويتحدد التوزيع تماما إذا علمت قيمتا هذين الدليلين ، ولذا نرمز له بالرمز مع (μ, σ) . والمتغير العشوائى u الذى له هذه الدالة يسمى بالمتغير المعتدل .

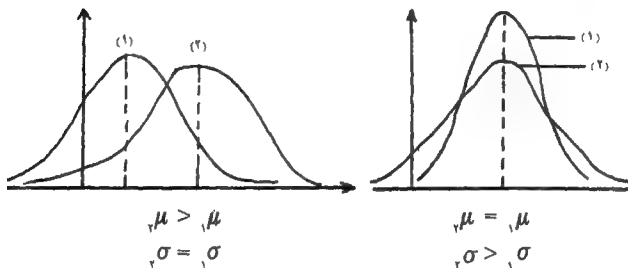
(٤ - ١) بعض خواص التوزيع

(أ) المنحنى الذى يمثل الدالة (١) يسمى بالمنحنى المعتدل وهو منحنى ذو قمة واحدة ومتماثل حول الخط $u = \mu$. ومساحة المنطقة الواقعة بين هذا المنحنى ومحور السينات تساوى الواحد الصحيح كما هو الحال لمنحنى أى توزيع احتمال . ومن التماثل نجد أن الخط $u = \mu$ يقسم الشكل إلى منطقتين متساويتى المساحة ومساحة كل منهما تساوى $\frac{1}{2}$. انظر الشكل (٤ - ١) .



الشكل (٤ - ١) : منحنى التوزيع المعتدل

(ب) لكل من البارامترين μ ، σ عدد غير منتهى من القيم ، ولذلك هناك عدد غير منتهى من التوزيعات المعتدلة . هذا مع ملاحظة أن μ هو بارامتر موضع location parameter أما σ فهو بارامتر شكل shape parameter كما يتبين من الشكل (٤ - ٢) الآتي :



الشكل (٤ - ٢)

(ج) معامل الالتواء = صفر ، معامل التفرطح = ٣

(د) إذا كانت s ترمز إلى قيم متغير معتدل s وسطه الحسابي μ وانحرافه

المعياري σ فإن الصيغة :

$$(٢) \quad \frac{\mu - s}{\sigma} = z$$

تحول المتغير s إلى متغير z له توزيع معتدل وسطه الحسابي صفر وانحرافه المعياري الواحد الصحيح ، ويسمى هذا المتغير بالمتغير المعتدل المعياري وسنرمز له بالرمز : مع (١ ، ٠) .

(هـ) إذا رسم توزيع التكرارات النسبية المتجمعة لمتغير معتدل على ورق الرسم البياني ذي التقسيم الخطي (العادي) فإن هذا المنحني يتخذ الشكل s غير أن

هناك ورق يسمى ورق تقسيم الاحتمالات المعتدلة normal probability graph paper إذا رسم عليه التوزيع نتج خط مستقيم ، ويستخدم هذا الورق للكشف عن اعتدالية المجموعات كما سنرى في البند (٤ - ٤) الآتي .

(٤ - ٢) جداول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى :

نظراً لأهمية معرفة احتمالات المتغيرات المعتدلة وكثرة الحاجة إليها فقد حسبت قيم هذه الاحتمالات لمتخلف فترات المتغير المعتدل المعيارى مع ووضعت في جداول تعرف بمجداول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى ، وهذه الجداول تأخذ صوراً متعددة تؤدى إلى نفس النتائج ومنها الصورة الواردة بالجدول (٦) بملحق هذا الكتاب . وهذا الجدول يعطى المساحة تحت المنحنى المعتدل المعيارى وفوق الفترة بين الصفر وبعض أعداد موجبة أ متوقعة للمتغير مع ، وهذه هي المساحة المظللة بالشكل (٤ - ٣) وهى تعبر عن الاحتمال ل ($0 < z \leq 1$) (٣)



الشكل (٤ - ٣)

أى عن احتمال وقوع قيم المتغير مع بين العددين . ، أى فى الفترة (. ، أ) . ويلاحظ من تماثل المنحنى أن هذا الاحتمال هو أيضاً احتمال وقوع قيم المتغير مع بين العددين - أ ، . أى : ل ($0 < z \leq 1$) (٤)

وذلك لتساوى مساحتي المنطقتين المناظرتين .

فى هذا الجدول يعبر الهامش الرأسي (الذى على اليسار أو على اليمين) عن

١١. أ إلى خانة عشرية واحدة ، ويعبر الهامش الأفتي (الذى فى أعلى الجدول)
ن الخانة العشرية الثانية أى خانة الجزء من مائة . أما الأعداد التى فى قلب الجدول
هى احتمالات وقوع المتغير ع فى الفترة (٠ ، ١) .

ثال (٤ - ١) :

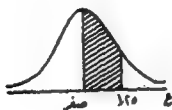
إذا علم أن توزيع درجات الطلاب فى مادة ما هو توزيع معتدل وسطه الحسابى
 $\mu = ٦٠$ وانحرافه المعيارى $\sigma = ١٦$. فأوجد باستخدام جدول المساحات
لاحتمالات الآتية :

أولاً : ل ($٦٠ < س \leq ٨٠$) ثانياً : ل ($س < ٨٠$)
ثالثاً : ل ($س \geq ٨٠$) رابعاً : ل ($٧٦ \leq س < ٤٠$)
خامساً : ل ($٨٥ \leq س < ٧٥$)

الحل :

لإيجاد الاحتمالات المطلوبة من الجدول يجب أن نحول المتغير المعتدل س إلى المتغير
المعتدل المعيارى ع بواسطة الصيغة (٢) وهى هنا

$$ع = \frac{س - ٦٠}{١٦}$$



$$(أولاً) \text{ بوضع } س = ٦٠ \text{ نجد أن } ع = \frac{٦٠ - ٦٠}{١٦} = \text{صفر}$$

$$\text{وبوضع } س = ٨٠ \text{ نجد أن } ع = \frac{٨٠ - ٦٠}{١٦} = ١,٢٥$$

$$\text{إذن ل (} ٦٠ < س \leq ٨٠ \text{)} = \text{ل (} ٠ < ع \leq ١,٢٥ \text{)}$$

$$= ٠,٣٩٤٤$$

وذلك من الجدول مباشرة عند العدد ١,٢ الذى فى الهامش الرأسي وتحت العدد ٥ الذى فى الهامش الأفقي . وهذه النتيجة تعني أن حوالى ٣٩٪ من الطلاب تقع درجاتهم بين ٦٠ ، ٨٠ .



(ثانياً) بوضع $s = ٨٠$ نجد أن $١,٢٥ =$

$$\therefore (s < ٨٠) = L (١,٢٥ < ع)$$

= مساحة المنطقة التي على يمين العدد ١,٢٥ =

$$= ٠,٥٠٠٠ - ٠,٣٩٤٤ =$$

$$= ٠,١٠٥٦ =$$

أى أن حوالى ١١٪ من الطلاب تزيد درجاتهم عن ٨٠ .

(ثالثاً) $L (s \geq ٨٠) = L (ع \geq ١,٢٥)$

= مساحة المنطقة التي على يسار العدد ١,٢٥ =

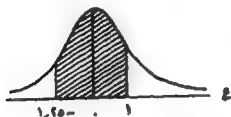
$$= ٠,٣٩٤٤ + ٠,٥٠٠٠ = ٠,٨٩٤٤ =$$



أى أن حوالى ٨٩٪ من الطلاب درجاتهم تساوى أو تقل عن ٨٠ .
يلاحظ أن جواب أى من الاسئلة الثلاثة السابقة يمكن الحصول عليه من جوابى السؤالين الآخرين .

$$\text{(رابعاً) بوضع } s = 40 \text{ نجد أن } E = \frac{70 - 40}{16} = 1,25$$

$$\text{بوضع } s = 76 \text{ نجد أن } E = \frac{70 - 76}{16} = 1$$



$$\text{إذن لـ } (76 \leq s < 40) = L = (1 < E \leq 1,25)$$

$$= \text{مساحة المنطقة فوق الفترة } (1, 0) + \text{مساحة المنطقة فوق الفترة } (0, 1,25) = 0,3413 + 0,3944 = 0,7357$$

$$\text{(خامساً) } s = 75 \text{ تعطى } E = 0,9375 = 0,94 \text{ تقريباً}$$

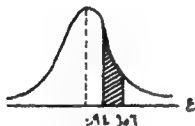
$$s = 85 \text{ تعطى } E = 1,0625 = 1,06$$

$$\text{إذن لـ } (85 \leq s < 75) = L = (0,94 < E \leq 1,06)$$

$$= \text{المساحة فوق الفترة } (1,06, 0)$$

$$- \text{المساحة فوق الفترة } (0,94, 0)$$

$$= 0,4406 - 0,3264 = 0,1142$$



مثال (٤ - ٢) : مثال مشهور.

للمتغير المعتدل s الذى وسطه الحسابي μ وانحرافه المعياري σ اثبت أن :

(أولاً) احتمال وقوع قيم المتغير بين العددين $\mu \pm \sigma$ هو ٠,٦٨٢٦

(ثانياً) احتمال وقوع قيم المتغير بين العددين $\mu \pm 2\sigma$ هو ٠,٩٥٤٤

(ثالثاً) احتمال وقوع قيم المتغير بين العددين $\mu \pm 3\sigma$ هو ٠,٩٩٧٤

الحل :

لكي نستخدم الجدول نحول المتغير s إلى المتغير z بواسطة التعويض :

$$\sigma / (\mu - s) = z$$

$$1 - = \frac{\mu - (\sigma - \mu)}{\sigma} = \text{أولاً : بوضع : } s = \sigma - \mu \text{ نجد أن } z =$$

$$1 = \frac{\mu - (\sigma + \mu)}{\sigma} = \text{وبوضع : } s = \sigma + \mu \text{ نجد أن } z =$$

$$\therefore \text{ لـ } (\sigma - \mu < s \leq \sigma + \mu) \text{ لـ } (1 - < z \leq 1)$$

$$= 2 \times (1 < z \leq 1) \text{ من التماثل}$$

$$= 0,3413 \times 2 = 0,6826$$

ثانياً : بالمثل نجد أن :

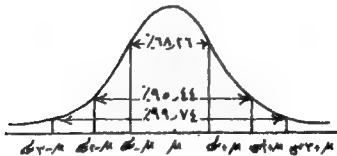
$$\text{لـ } (\sigma - 2 < s \leq \sigma + 2) \text{ لـ } (2 - < z \leq 2)$$

$$= 2 \times (2 < z \leq 2) = 0,4772 \times 2 = 0,9544$$

$$\text{ثالثاً : لـ } (\sigma - 3 < s \leq \sigma + 3) \text{ لـ } (3 - < z \leq 3)$$

$$= 2 \times (3 < z \leq 3) = 0,4987 \times 2 = 0,9974$$

وتصور هذه النتائج بيانياً كما في الشكل (٤ - ٤) الآتي :



الشكل (٤ - ٤) المساحات أسفل المنحنى المعتدل

مثال (٤ - ٣) : مثال مشهور

بنفس الطريقة نثبت العلاقات الهامة الآتية التي سنحتاج إليها في كثير من التطبيقات الإحصائية ، انظر السؤال (١ - ح) من تمارين (٤) .

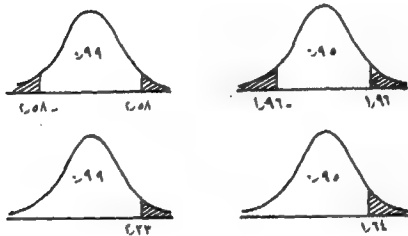
$$(١) \text{ ل } (١,٩٦ \leq E < ١,٩٦) = ٠,٩٥$$

$$(٢) \text{ ل } (٢,٥٨ \leq E < ٢,٥٨) = ٠,٩٩$$

$$(٣) \text{ ل } (١,٦٤ < E) = ٠,٠٥$$

$$(٤) \text{ ل } (٢,٣٣ < E) = ٠,٠١$$

وتمثل هذه الاحتمالات كما في الشكل (٤ - ٥) الآتي :



الشكل (٤ - ٥) بعض القيم الحرجة للمتغير المعتدل المعياري

(٤ - ٣) الكشف عن الاعتدالية :

في كثير من الأحيان يبني التحليل الإحصائي لبيانات ناتجة من عينة على أساس افتراض أن المجتمع الذي سحبت منه العينة معتدل ، ولذلك ينبغي أن نتحقق من توفر هذا الافتراض قبل إجراء مثل هذا التحليل .

نفرض أن لدينا توزيعاً تكرارياً ذا فئات لعينة عشوائية وسطها الحسابي \bar{x} وانحرافها المعياري σ ونريد اختبار ما إذا كانت هذه العينة مأخوذة من مجتمع معتدل .

نتصور مجتمعاً معتدلاً له نفس الوسط الحسابي والانحراف المعياري للتوزيع التكراري المعلوم أى نأخذ $\mu = \bar{x}$ ، $\sigma = \sigma$. إذا كانت العينة مأخوذة من هذا المجتمع فإن احتمال وقوع المتغير المعتدل في فئة مساوية لأى من الفئات التي ينقسم إليها التوزيع التكراري لا يجب أن يختلف كثيراً عن التكرار النسبي المشاهد في هذه الفئة . وعلى ذلك نقوم بحساب احتمالات وقوع المتغير المعتدل في جميع فئات التوزيع التكراري مستعينين في ذلك بمجدول المساحات . بضرب هذه الاحتمالات (التكرارات النسبية) في حجم العينة نحصل على ما يسمى بالتكرارات النظرية أو المتوقعة المناظرة للتكرارات المشاهدة في العينة . نقارن بين التكرارات المشاهدة والتكرارات المتوقعة لها فإذا كانت قريبة من بعضها بدرجة معقولة أى كانت هناك مطابقة حسنة بين التوزيع التكراري المشاهد والتوزيع التكراري النظرى ، جاز لنا أن نعتبر أن المجتمع معتدل ، وإلا فهو ليس كذلك .

إن عملية إيجاد توزيع تكراري نظري بالطريقة المذكورة تسمى بعملية توفيق توزيع معتدل لتوزيع تكراري معلوم . وقد سبق أن مرت بنا فكرة التوفيق هذه في حالة كل من توزيع ذى الحدين وتوزيع بواسون . وكما سبق القول ، يعتمد الحكم الموضوعى على حسن المطابقة أو سوءها على أحد الاختبارات الإحصائية مثل اختبار χ^2 الذى سندرسه فيما بعد .

مثال (٤ - ٤) :

وفق التوزيع المعتدل للتوزيع التكراري الآتي ، وإذا كان هذا التوزيع لعينة عشوائية فاختبر ما إذا كان من الممكن اعتبار أن المجتمع الذى سحبت منه هو مجتمع معتدل .

الفئة	-٣١٥	-٣٢٥	-٣٣٥	-٣٤٥	-٣٥٥	-٣٦٥	-٣٧٥	-٣٨٥	-٣٩٥	-٤٠٥
التكرار	٦	٦	١١	١٤	١٦	١٥	٨	١٠	٨	٦

الحل :

يتطلب توفيق التوزيع المعتدل أن نوجد الوسط الحسابي والانحراف المعياري للتوزيع التكراري المعطى لاستخدامهما في تقدير الوسط الحسابي والانحراف المعياري للمجتمع . كالمعتاد نجد أن :

$$\text{الوسط الحسابي} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i f_i = \frac{1}{100} (410 \times 6 + 400 + 330 \times 6 + 320 \times 6) = \frac{36470}{100} = 364,7$$

$$\text{التباين} = s^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum x_i^2 f_i - \frac{(\sum x_i f_i)^2}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{99} \left(\frac{36470^2}{100} - 2 \times 410 \times 6 + 400 + 2 \times 330 \times 6 + 320 \times 6 \right)$$

$$= 712,89$$

$$\text{الانحراف المعياري} = 26,7$$

نريد أن نختبر أن المجتمع الذي سحبت منه العينة هو مجتمع معتدل وسطه الحسابي وانحرافه المعياري ٢٦,٧ . نحسب التكرارات المتوقعة كما في الجدول (٤ - ١) الآتي :

الجدول (٤ - ١)

توزيع معدل للتوزيع التكرارى في المثال (٤ - ٤)

التكرارات النسبة المتوقعة لـ	التكرارات المتوقعة لـ $100 \times$	التكرارات النسبة المتوقعة لـ	الفئات بقيم ع	الفئات بقيم س
٦	٦,٨١	٠,٠٦٨١	$(1,49) - \infty$	$325 - \infty$
٦	٦,٥٤	٠,٠٦٥٤	$(1,11) - (1,49)$	$335 - 325$
١١	٩,٦١	٠,٠٩٦١	$(0,74) - (1,11)$	$345 - 335$
١٤	١٢,٩٨	٠,١٢٩٨	$(0,36) - (0,74)$	$355 - 345$
١٦	١٣,٦٦	٠,١٣٦٦	$0,01 - (0,36)$	$365 - 355$
١٥	١٥,٥٧	٠,١٥٥٧	$0,39 - 0,01$	$375 - 365$
٨	١٢,٤٧	٠,١٢٤٧	$0,76 - 0,39$	$385 - 375$
١٠	٩,٤٤	٠,٠٩٤٤	$1,13 - 0,76$	$395 - 385$
٨	٦,٣٧	٠,٠٦٣٧	$1,51 - 1,13$	$405 - 395$
٦	٦,٥٥	٠,٠٦٦٥	$\infty - 1,51$	$\infty - 405$
١٠٠	١٠٠,٠٠	١,٠٠٠٠		

في العمود الأول من هذا الجدول نضع الفئات كما هي معطاة مع تعديل واحد وهو وضع ∞ بدلا من الحد الأدنى للفئة الأولى و $+$ بدلا من الحد الأعلى

للفئة الأخيرة ، وذلك لأن التوزيع المعتدل هو توزيع متصل تقع قيمه بين $-\infty$ ، $+\infty$ وهذا التعديل من شأنه إدخال جميع هذه القيم دون أن يؤثر ذلك على التوزيع التكرارى المعطى .

وفي العمود الثاني نضع حدود الفئات بعد تحويلها إلى قيمها المعيارية بواسطة

$$\text{التعويض } E = \frac{364,7 - 325}{26,7} \text{ توطئة لاستخدام جدول المساحات أسفل المنحني}$$

المعتدل المعيارى ، فمثلا للفئة الأولى

$$S = -\infty \text{ تعطى } E = -\infty$$

$$S = 325 \text{ تعطى } E = \frac{364,7 - 325}{26,7} = 1,49$$

وهكذا بالنسبة لبقية الفئات .

وفي العمود الثالث نضع التكرارات النسبية المتوقعة لـ E التي تعبر عن احتمالات وقوع قيم المتغير E في الفئات المناظرة ، وهذه الاحتمالات نوجدتها من جدول المساحات . فمثلا للفئتين الأولى والثانية :

$$L(-1,49 < E < \infty) = 0,5000 - 0,4319 = 0,0681$$

$$L(-1,11 < E < -1,49) = 0,4319 - 0,3665 = 0,0654$$

وهكذا بالنسبة لبقية الفئات .

ولما كانت هذه الاحتمالات هي بمثابة التكرارات النسبية في كل فئة فإننا للمقارنة بالتوزيع المعطى نضرب كلا منها في حجم هذا التوزيع وهو هنا ١٠٠ لنحصل على التكرارات المتوقعة قـ أى التكرارات التي نتوقعها في حالة كون المجتمع معتدلا . وهذه نضعها في العمود الرابع . أما العمود الخامس فيحمل التكرارات المشاهدة في العينة لتسهيل مقارنتها بالتكرارات المتوقعة .

ومن هذه المقارنة نشعر أن هناك مطابقة حسنة بين التوزيع التكرارى المشاهد والتوزيع التكرارى النظرى إذ لا تختلف التكرارات المشاهدة عن نظائرها المتوقعة في أغلب الفئات إلا قليلا مما يشير إلى أن المجتمع الذى أخذت منه العينة هو على الأرجح مجتمع معتدل ، وإن كان الحكم الموضوعى في ذلك يتطلب استخدام أحد الاختبارات الإحصائية المناسبة . انظر المثال (٦ - ٩) في البند (٦ - ٧ - ٢) .

(٤ - ٤) طريقة بيانية للكشف عن الاعتدالية :

هناك طريقة بيانية تستخدم كاختبار سريع للكشف عن دلالة المنحني التكرارى المشاهد ومدى انحرافه عن الاعتدالية ، ويشترط في هذه الطريقة أن تكون العينة عشوائية وكبيرة الحجم (ن أكبر من ٥٠) . وتبنى فكرة هذه الطريقة على أن التوزيع المعتدل هو توزيع متماثل ذو تفرطح معين وبالتالي فإن أهم ما ينبغي التحقق منه في توزيع تكرارى لعينة هو مدى تماثله ومدى تفرطحه بالنسبة للتوزيع المعتدل . وكل ما تتطلبه هذه الطريقة هو تكوين توزيع التكرارات المتجمعة المثوية للتوزيع التكرارى المعلوم ثم رسم النقط التي تمثل هذا التوزيع على ورق تقسيم الاحتمالات . فإذا وقعت هذه النقط على وجه التقريب على خط مستقيم يمكن توفيقه بالعين دل ذلك على أن المجتمع هو على الأرجح مجتمع معتدل ، وإلا فهو ليس كذلك . راجع الخاصة (هـ) من البند (٤ - ١) .

ولهذه الطريقة فائدة أخرى ، وهى أنه إذا ظهر لنا أن المجتمع معتدل أو قريب من الاعتدال فإننا نستطيع تقدير الوسط الحسابي والانحراف المعياري لهذا المجتمع من المستقيم الذى وقفناه كالآتي :

(أ) الوسط الحسابي (الوسيط في الواقع) يقدر بالإحداثي السيني للنقطة التي على الخط المستقيم التي إحداثيها الصادى ٥٠ .

(ب) الانحراف المعياري يقدر بنصف الفرق بين الإحداثيين السينيين للنقطتين اللتين إحداثييهما الصاديان ١٥,٩ ، ٨٤,١ .

مثال (٤ - ٥) :

استخدم الطريقة البيانية لاختبار اعتدالية المجتمع الذى سحبت منه العينة المذكورة في المثال (٤ - ٤) ، وإذا رأيت أن المجتمع معتدل فأوجد تقديراً لوسطه الحسابي وانحرافه المعياري .

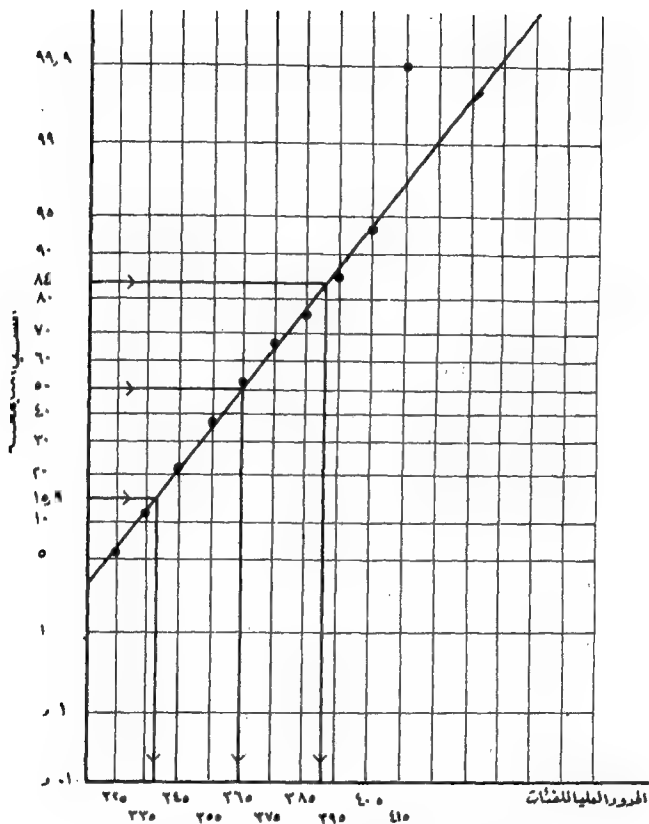
الحل :

نبدأ بإنشاء توزيع التكرارات المتجمعة المئوية كما في الجدول (٤ - ٢) الآتي :

الجدول (٤ - ٢)

الحدود العليا للفئات	التكرار المتجمع	التكرار المتجمع %
$325 \geq$	٦	٦
$335 \geq$	١٢	١٢
$345 \geq$	٢٣	٢٣
$355 \geq$	٣٧	٣٧
$365 \geq$	٥٣	٥٣
$375 \geq$	٦٨	٦٨
$385 \geq$	٧٦	٧٦
$395 \geq$	٨٦	٨٦
$405 \geq$	٩٤	٩٤
$415 \geq$	١٠٠	١٠٠

نرسم النقط (٣٢٥ ، ٦) ، (١٢ ، ٣٣٥) ، ... ، (٤١٥ ، ١٠٠) على ورق تقسيم الاحتمالات المعتدلة لنحصل على الشكل (٤ - ٦) الآتي :



الشكل (٤ - ٦) توزيع التكرارات النسبية المجمعة لبيانات المثال (٤ - ٤)

مترسوماً على ورق تقسيم الاحتمالات المعدلة

بالتأمل في هذا الشكل نجد أن النقط تكاد تقع على خط مستقيم مما يشير إلى اعتدالية التوزيع . من الخط المرسوم نقدر الوسط الحسابي والانحراف المعياري للمجتمع كالآتي :

$$\text{الوسط الحسابي} = 365$$

$$\text{الانحراف المعياري} = \frac{1}{4} (339 - 392) = 26,5$$

(٤ - ٥) معالجة عدم اعتدالية التوزيع :

في التحليل الإحصائي للبيانات يتطلب الأمر في بعض الحالات أن يكون المجتمع معتدلاً ، فإذا لم يكن المجتمع معتدلاً نبحث عن تحويل مناسب يجعله معتدلاً أو قريباً من الاعتدال . ومن أكثر التحويلات استخداماً في هذا الصدد التحويل المسمى بالتحويل اللوغاريتمي logarithmic transformation الذي يحول المتغير x الذي لدينا إلى متغير y حيث $y = \log x$. ولا بأس من أخذ اللوغاريتمات العادية أى ذات الأساس ١٠ . وفي كثير من الحالات يفلح هذا التحويل في تعديل التوزيعات التكرارية المتلوية إلى الجمن إلى توزيعات أكثر تماثلاً وبالتالي يكون قد عالج إلى حد ما عدم اعتدالية التوزيع . هذا مع ملاحظة أن عدم الاعتدالية لا تترتب عليه نتائج وخيمة إلا إذا كان التوزيع ملتوياً لتواء شديداً . على أنه إذا لم يوجد تحويل يصلح لتصحيح الاعتدالية فإننا نلجأ في تحليل البيانات إلى طرق لا تتطلب شرط الاعتدالية وهذه الطرق تسمى بالطرق غير البارامترية non-parametric methods وهي طرق لا تعتمد على فرض توزيعات محددة للمجتمعات أو المتغيرات التي ندرسها . انظر الفصل الرابع عشر .

ملاحظة عن التحويلات :

(١) يستخدم التحويل اللوغاريتمي أيضاً في تحويل نموذج من النوع الضربي مثل $y = a_1 x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3}$ إلى نموذج من النوع الخطي $\log y = \log a_1 + b_1 \log x_1 + b_2 \log x_2 + b_3 \log x_3$

الذى هو أسهل تناولا ، وذلك بوضع $ص = لو$ ، $ص = لو$ س ... الخ ، وهذا ما نفعله أحيانا في موضوع تحليل الانحدار . كما يستخدم التحويل اللوغاريتمى حين يكون الوسط الحسابي μ للمجتمع مرتبطاً ارتباطاً موجباً بالتباين σ^2 فهو يحول المتغير الذى لدينا إلى متغير آخر يكون فيه هذان الدليلان مستقلين .

(٢) هناك تحويل آخر يسمى بتحويل الجذر التربيعى square-root transformation حيث نضع $ص = \sqrt{لو}$. ويستخدم هذا التحويل للبيانات التى تنتج عن العد ويكون توزيعها بواسونيا حيث يكون الدليلان μ ، σ^2 غير مستقلين (إذ نعلم أن $\mu = \sigma^2$) ويفلح هذا التحويل في جعلهما مستقلين . وإذا احتوت البيانات على أصفار يفضل استخدام التحويل $ص = \sqrt{لو + ٠.٥}$.

(٣) من التحويلات الشهيرة أيضاً التحويل الزاوى angular transformation حيث نضع $ص = \arcsin \sqrt{\frac{لو}{ح}}$ ويستخدم حين تكون البيانات مؤلفة من نسب مئوية . وفي توزيع ذى الحدين الذى دليلاه $ن$ ، $ح$ نعلم أن الوسط الحسابي $\mu = ن ح$ والتباين $\sigma^2 = ن ح (١ - ح)$ وبالتالي فإن التباين يكون دالة في الوسط الحسابي . إن التحويل الزاوى يوقف هذه الدالية . إلا أنه حين تكون النسب واقعة بين ٠,٣٠ ، ٠,٧٠ ، فإن هذا التحويل لا يكون له ضرورة .

(٤) إن التحويلات الثلاثة السابقة تغير العلاقة الدالية بين المتغيرات أى تغير النموذج الرياضى إلى نموذج آخر . غير أن هناك تحويلات لا تفعل هذا وإنما تستهدف تقنين المتغيرات عن طريق :

(أ) استبعاد وحدات القياس وذلك بالتحويل إلى مقياس نسبى لا يعتمد على وحدات القياس ،

(ب) جعل القيم الناتجة عن التحويل فى المجموعات المختلفة تتساوى فى أوساطها الحسابية وفى تبايناتها .

وأشهر هذه التحويلات يأخذ الصورة الآتية المسماه بالصورة المعيارية :

$$\frac{s - \bar{s}}{e} = v$$

حيث \bar{s} متوسط قيم s ، e انحرافها المعياري .

ونظراً لأن هذا المقياس نسبي فإن القيم الصادقة الناتجة تكون خالية من أى وحدة قياس ، كما أن هذا التحويل إذا أجرى على قيم المتغير فى أى مجموعة فإنه يحول هذه القيم إلى قيم متوسطها يساوى صفراً وتباينها يساوى الواحد الصحيح .

تمارين (٤)

(١) للتوزيع المعتدل المعياري وباستخدام جدول المساحات

(أ) أوجد كلا من الاحتمالات الآتية :

$$ل (١,٥ \leq e < ٢) ، ل (١,٦٥ \leq e < ٢) ، ل (٢ > e - ٠,٧٤) ، ل (١,٢٥ \leq e < ٢,٠٥) .$$

$$(ب) أوجد قيمتي أ ، ب بحيث ل (٢ > e) = ٠,٠٩٠ ، ل (٢ < e) = ٠,٤٨$$

$$(ج) أثبت أن ل (١,٩٦ \leq e < ١,٩٦) = ٠,٩٥ ، ل (٢ \leq e) = ٠,٠٥$$

$$ل (٢,٥٨ \leq e < ٢,٥٨) = ٠,٩٩ ، ل (٢,٣٣ \leq e) = ٠,٠١$$

(٢) للتوزيع المعتدل الذى وسطه الحسابي ٥٠ وانحرافه المعياري ٥ أوجد كلا من ل (٣٠,٥ < s < ٥٥) ، ل (٤٥ < s) .

(٣) في مجتمع معين المعروف أن نسب الذكاء تتوزع توزيعاً معتدلاً وسطه الحسابي ١٠٤,٦ وانحرافه المعياري ٣,١٥

(أ) أوجد نسبة الأفراد الذين تقع نسب ذكائهم بين ٩٠ ، ١٢٠

(ب) أوجد نسبة الأفراد الذين تزيد نسب ذكائهم عن ١١٠

(٤) التوزيع الآتي هو التوزيع التكرارى لعينة عشوائية مأخوذة من مجتمع ما .

٢٧,٥	٣٢,٥	٣٧,٥	٤٢,٥	٤٧,٥	٥٢,٥	٥٧,٥	٦٢,٥
٥	٦	١٣	٨	١٦	١٤	٧	١

(أ) أثبت أن الوسط الحسابي يساوى ٤٧,٠٧١ وأن الانحراف المعياري يساوى ٨,٩٤٨ .

(ب) وفق توزيعاً معتدلاً لهذا التوزيع واذكر رأيك فيما إذا كان بالامكان اعتبار أن المجتمع معتدل .

(ج) استخدم الطريقة البيانية لاختبار اعتدالية المجتمع .

(٤ - ٦) تقريب توزيع ذى الحدين بتوزيع معتدل :

في البند (٣ - ٤ - ١) رأينا أنه إذا كان μ متغيراً عشوائياً ذا توزيع ذى حدين دليلاً ن ، ح يجوز تقريب هذا التوزيع بتوزيع بواسون متوسطه يساوى متوسط توزيع ذى الحدين بشرط أن يكون حجم العينة ن كبيراً وأن يكون الاحتمال ح صغيراً حيث يكون التوزيع ملتوياً إلى اليمين . يجوز تحت شروط أخرى تقريب توزيع ذى الحدين : حد (ن ، ح) بتوزيع معتدل متوسطه $\mu = n \cdot p$ أى يساوى متوسط توزيع ذى الحدين ، وتباينه $\sigma^2 = n \cdot p \cdot q$ أى يساوى تباين ذى الحدين بشرط أن تكون ن كبيرة وأن تكون ح قريبة من العدد $\frac{n}{2}$ حيث يكون التوزيع متاثلاً بالتقريب . تحت هذين الشرطين يقترب توزيع الإحصاءة

$$Z = \frac{\mu - n \cdot p}{\sqrt{n \cdot p \cdot q}} \quad \text{حيث } q = 1 - p$$

من التوزيع المعتدل المعيارى : مع (١٦٠) كلما زاد العدد ن .

ومن الناحية العملية وجد أن هذا التقريب يكون جيداً أى يمكن التجاوز عن الخطأ الناشئ عنه إذا توفر أحد الشرطين الآتيين :

(أ) إذا كانت كل من n و h أكبر من خمسة

أو (ب) إذا كانت $n \leq 10$ ومعامل الالتواء أصغر من ٠,٢ .

ونظراً لأن توزيع ذى الحدين هو توزيع لمتغير وثاب بينما التوزيع المعتدل هو توزيع لمتغير متصل فإننا لعلاج ذلك فى عملية التقريب يجب أن نعتبر أن كل قيمة s من قيم المتغير ذى الحدين ممتدة نصف وحدة من اليسار ونصف وحدة من اليمين فمثلاً العدد $s = 4$ نعتبر أنه الفترة (٣,٥ ، ٤,٥) ، والعدد $s = 4,٧$ نعتبر أنه الفترة (٤,٦٥ ، ٤,٧٥) ، وإذا أردنا مثلاً إيجاد الإحتمال $L(10 \leq s \leq 3)$ لتوزيع ذى حدين فإننا نحسب الاحتمال التقريبي $L(10,5 \leq s \leq 2,5)$ باستخدام جداول التوزيع المعتدل .

مثال (٤ - ٦)

ألقيت حجرة نرد منتظمة عشوائياً ١٠ مرات . أوجد احتمال الحصول على الصورة في ٣ أو ٤ أو ٥ أو ٦ مرات .

الحل :

نظراً لأن حجرة النرد منتظمة والرمية عشوائية فإن توزيع عدد مرات ظهور الصورة هو توزيع ذو حدين : حد (١٠ ، ٠,٥) ودالة كتلة الاحتمال تكون كالآتى :

$$d(s) = \binom{10}{s} (0,5)^s (0,5)^{10-s} = \binom{10}{s} (0,5)^{10}$$

$$\text{حيث } s = 0, 1, 2, \dots, 10$$

$$\therefore L(s = 3 \text{ أو } 4 \text{ أو } 5 \text{ أو } 6) = d(3) + d(4) + d(5) + d(6)$$

$$= (0,5) \cdot \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right)$$

$$= 0,7734$$

الحل التقريبي :

بما أن الشرط (ب) متوفر إذ أن $u = 10 < 10$ ومعامل الالتواء = صفر $> 2,0$ ،
 (مع ملاحظة أن التوزيع متماثل تماماً لأن $\frac{1}{p} = 3$) يمكن التقريب بتوزيع معتدل
 متوسطه $\mu = 3 = u = 0,5 \times 10 = 5$ وتباينه $\sigma^2 = 3 = u = 0,5 \times 10 = 5$ ،
 واذن انحرافه المعياري يساوي $\sqrt{5} = 2,236$ ويكون للمتغير

$$Z = \frac{u - \mu}{\sigma} = \frac{0 - 5}{2,236}$$

توزيع معتدل معياري على وجه التقريب . وهنا نعتبر أن العدد 3 هو الفترة (2,0 ، 3,0) ، وأن العدد 4 هو الفترة (3,0 ، 4,0) وهكذا ... ويكون المطلوب إيجاد
 احتمال ل (2,0 < u < 6,0) في التوزيع المعتدل مع (0,5 ، 1,08)

$$\text{بوضع } u = 2,0 \text{ نجد أن } Z = \frac{0 - 2,0}{1,08} = -1,85$$

$$\text{بوضع } u = 6,0 \text{ نجد أن } Z = \frac{0 - 6,0}{1,08} = -5,56$$

$$\therefore \text{ل (2,0 < u < 6,0) } = \text{ل (0,5 < Z < -1,85) } = 1,082 - 0,982 = 0,102$$

ومن الواضح أن هذه القيمة قريبة جداً من القيمة المضبوطة 0,7734 .

(ثانيا) التوزيع المعتدل اللوغاريتمى

إن التوزيع المعتدل اللوغاريتمى هو مثال آخر للنماذج الاحتمال المتصلة ، وقد سمي كذلك لأن التحويل $ص = لو س$ يحول المتغير الذى يصفه هذا التوزيع إلى متغير دى توزيع معتدل . ومن الظواهر التى يصلح لها هذا النموذج بعض الظواهر الجيولوجية كتلك المتعلقة بأوزان وأعداد بعض أنواع الصخور الرسوبية ، وبعض الظواهر الاقتصادية كدخول الأفراد وخاصة الدخول ذوات القيم الصغيرة . ويعرف هذا التوزيع بواسطة دالة كثافة الاحتمال الآتية :

$$د(س) = \frac{1}{\sqrt{\theta}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{\theta^2}}} \quad (لو س - \gamma) \quad (4)$$

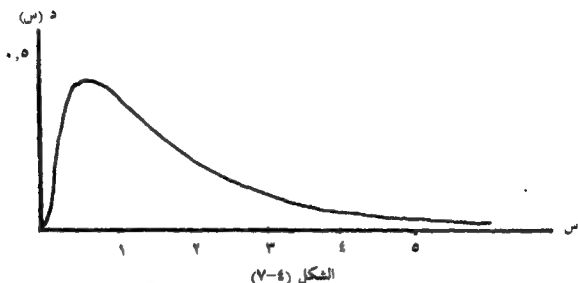
حيث اللوغاريتم للأساس $هـ$ وحيث γ ، θ بارامتران إذا علمت قيمتهما تحدد التوزيع تحديدا تاما .

(٤ - ٦) بعض خصائص التوزيع

(١) المنحنى الممثل للدالة (٤) هو منحنى ذو قمة واحدة وملتوى إلى اليمين ، ويختلف شكله باختلاف قيمتى البارامترين γ ، θ ، فمثلا يأخذ الشكل المبين بالشكل (٤-٧) حين تأخذ γ القيمة صفر وتأخذ θ القيمة ١ .

(ب) التحويل $ص = لو س$ حيث اللوغاريتم للأساس $هـ$ يحول المتغير $س$ إلى متغير $ص$ له توزيع معتدل وسطه الحسابى γ وانحرافه المعيارى θ ، وبالتالي يكون المتغير

$$\frac{لو س - \gamma}{\theta} = ع$$



المنحنى المعتدل اللوغاريتمي: $\gamma = 0$ و $\theta = 1$

هو متغير معتدل معياري (وسطه الحسابي صفر وتباينه ١) . وبناء على ذلك يمكن استخدام جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعياري ، وهو الجدول (٦) بملحق هذا الكتاب ، في إيجاد الاحتمالات والقيم الحرجة للمتغير $س$ كما في المثالين الآتيين :

مثال (٦-٤)

إذا كان $س$ متغيراً معتدلاً لوغاريتمياً دليلاً $\gamma = 1$ ، $\theta = 2$ فأوجد الاحتمال $L(س > 35,5)$.

الحل :

$$\text{بوضع } ص = لو(س) \text{ يكون للمتغير } ع = \frac{1 - س}{2} \text{ توزيع معتدل معياري.}$$

$$L(س > 35,5) = L(لو س > 35,5) = L\left(\frac{1 - س}{2} > \frac{1 - 35,5}{2}\right)$$

$$L(س > 35,5) = L\left(\frac{1 - 3,0695}{2} > ع\right) = L(ع > 1,2848)$$

$$= 0,8997 \text{ (من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل)}$$

مثال (٤-٧)

إذا كان s متغيراً معتدلاً لوغاريتمياً دليله $\gamma = 2$ ، $\theta = 0,5$ ، فأوجد قيمة a بحيث $L(s > a) = 0,90$

الحل :

$$L(s > a) = L(s > 2 - \frac{2-a}{0,5}) \quad L\left(\frac{2-a}{0,5} > \frac{2-s}{0,5}\right)$$

$$L = (E > E) = 0,90$$

$$1,28 = \frac{2-a}{0,5} \therefore 1,28 = E \quad \text{من جدول المساحات نجد أن}$$

$$\therefore L(a) = 2,64 \therefore 1 = 14,013$$

الفصل الخامس

توزيعات خاصة

SPECIAL DISTRIBUTIONS

كل من التوزيعات الثلاثة الآتية هو توزيع احتمال لتغير عشوائي متصل مركب بطريقة معينة من عدد من المتغيرات العشوائية المتعددة . وهذه التوزيعات لا تستخدم كنماذج احتمال للمجتمعات كما هو الحال في التوزيعات التي عرضت في الفصولين السابقين ، وإنما تبرز من خلال التحليل الإحصائي للعينات وتبني عليها اختبارات إحصائية ذات أهمية قصوى في عملية الاستدلال الإحصائي كما سنرى في الفصل التالي . ومن الناحية التطبيقية يهمننا بصفة خاصة في دراسة هذه التوزيعات أمرين هما :

(١) الشكل الهندسي العام لكل توزيع .

(٢) كيفية استخدام الجداول لإيجاد الاحتمالات والقيم الحرجة .

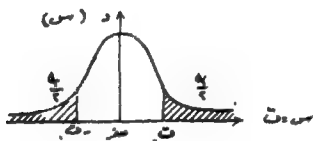
STUDENT t- DISTRIBUTION : (١-٥) توزيع ت :

يقال لتغير عشوائي t إن له توزيع ت إذا فقط إذا كانت دالة كثافة احتمال معرفة بالقاعدة :

$$(1) \quad \frac{(1+u)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{u}{2} + 1\right)} \frac{1}{\frac{1}{2} \sqrt{u}} = (u) \quad \frac{1}{(2-u)^{\frac{1}{2}}}$$

حيث $-\infty < u < \infty$ ، $u = 1, 2, 3, \dots$

وهذا التوزيع له دليل واحد هو u يسمى بعدد درجات الحرية للتوزيع ، ولهذا فالتوزيع يتحدد تماماً إذا علمت قيمة u .



الشكل (١-٥) منحنى توزيع المتغيرات

والمنحنى الممثل للدالة $ص = د (u)$ المعرفة في (١) هو منحنى ذو قمة واحدة ومتماثل حول المستقيم $ص = صفر$.

(٢) الوسط الحسابي للتوزيع : $صفر = \mu$

(٣) ، تبين التوزيع : $\frac{u}{2-u} = \sigma^2$ حيث $u < 2$

وجدير بالذكر أن توزيع $ت$ يقترب من التوزيع المعتدل المعياري كلما اقتربت درجات الحرية u من اللانهاية .

جدول القيم الحرجة :

الجدول (٧) بملحق هذا الكتاب يعطى القيمة الحرجة $ت$ critical value للمتغير $ت$ وهى تلك القيمة الموجبة التي تجعل مساحة المنطقة أسفل المنحنى وخارج الفترة

(-ت. ، ت.) مساوية لقيمة معينة α عند درجة الحرية h . أي أن العدد α يعبر عن المساحة عند ذيل المنحني (٥٥) عند كل ذيل) وبالتالي فهو يعبر عن احتمال وقوع قيم المتغيرات خارج الفترة المذكورة . (انظر الشكل ٥-١) . ونكتب هذا رمزياً كالآتي :

$$L (|t| < \alpha) = \alpha \quad (٤)$$

في هذا الجدول كتبت درجات الحرية في كل من العمودين الهامشين الواقعين في يمين ويسار الجدول ، وكتبت الاحتمالات $\alpha = ٠,٠٠١ , ٠,٠١ , ٠,٠٢ , ٠,٠٥ , ٠,١ , ٠,٢ , ٠,٤ , ٠,٥ , ٠,٩$ في الهامش الأفقى الذى بأعلى الجدول . أما القيم الحرجة فمدونة في الخلايا التي بقلب الجدول . وحين تكون درجة الحرية h معلومة لنا ، نستطيع استخراج مايلى :

- (١) القيمة الحرجة t إذا أعطيت قيمة الاحتمال α . ونجد تلك القيمة عند نقطة التقاء الصف الذى به درجة الحرية h والعمود الذى به قيمة α .
- (٢) قيمة الاحتمال α إذا أعطيت القيمة الحرجة . ولإيجاد تلك القيمة نبحث في الصف الذى به درجة الحرية عن القيمة الحرجة المعطاة فتكون α هى العدد الذى يعلو العمود الذى به هذه القيمة .

مثال (٥-١) :

ليكن s متغيراً له توزيع t بدرجات حرية عددها ٨ . من الجدول نجد مايلى :

- (١) إذا كانت $\alpha = L (|t| < \alpha) = ٠,٠٥$ فإن القيمة الحرجة $t = ٢,٣٠٦$
- (ب) الاحتمال $L (|t| < ٢,٨٩٦) = ٠,٠٢$
- (ج) الاحتمال $L (t < ٢,٨٩٦) = ٠,٠١$ مساحة الذيل الأيمن فقط .

تقليد :

(٥)

نكتب T_{α}

للتعبير عن القيمة الحرجة T في توزيع T عند درجة الحرية ν بحيث يكون مجموع مساحتي المنطقتين عند الذيلين يساوي α ، فمثلاً :

$$T_{0.05, \nu} = 2, 365 \text{ ، } T_{0.01, \nu} = 5, 841 \text{ ، } T_{0.001, \nu} = 1, 96$$

(٥-٢) توزيع χ^2 : THE CHI-SQUARE DISTRIBUTION

يقال لمتغير عشوائى ν إن له توزيع χ^2 (تنطبق كاي تربيع) إذا وفقط إذا كانت دالة كثافة احتماله معرفة بالقاعدة :

$$d(s) = \frac{1}{\Gamma(\frac{\nu}{2}) 2^{\frac{\nu}{2}}} s^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-\frac{s}{2}} \quad (٦)$$

حيث $0 < s < \infty$ ، $\nu = 1, 2, 3, \dots$

وهذا التوزيع له دليل واحد هو ν يسمى بعدد درجات الحرية للتوزيع ، ولهذا فالتوزيع يتحدد تماماً إذا علمت قيمة ν .

والمنحنى الممثل للدالة $d(s) = d$ المعرفة في (٦) وعندما $\nu < 2$ يكون منحنى ذو قمة واحدة وملتوى إلى اليمين .



الشكل (٥-٢) منحنى توزيع المتغير χ^2 ، ($\nu < 2$)

- (٧) الوسط الحسابي للتوزيع : $\mu = \bar{x}$
- (٨) ، تباين التوزيع : $\sigma^2 = s^2$

جدول القيم الحرجة :

الجدول (٨) يملحق هذا الكتاب يعطى القيمة الحرجة χ^2 للمتغير χ^2 وهي القيمة التي تجعل مساحة المنطقة أسفل المنحني وفوق الفترة (χ^2, ∞) مساوية لقيمة معينة α عند درجة الحرية n . أى أن العدد α يعبر عن المساحة عند الذيل المتتوى، وبالتالي فهو يعبر عن احتمال وقوع قيم المتغير χ^2 على يمين العدد χ^2 (انظر الشكل ٢-٥). ونكتب هذا رمزياً كالآتي :

$$(٩) \quad \alpha = P(\chi^2 < \chi^2)$$

فى هذا الجدول كتبت درجات الحرية والاحتمالات α والقيم الحرجة بنفس الطريقة التى كتبت بها فى جدول ت، غير أن α تأخذ القيم ٠,٠٠٥ ، ٠,٠١ ، ٠,٠٢٥ ، ٠,٠٥ ، ٠,١ ، ٠,٥ ، ٠,٩ ، ٠,٩٧٥ ، ٠,٩٩٥ . وحين تكون درجة الحرية n معلومة لنا، نستطيع من الجدول استخراج القيمة الحرجة χ^2 . إذا أعطيت قيمة الاحتمال α أو استخراج الاحتمال α بمعلومة القيمة الحرجة χ^2 .

مثال (٢-٥) :

ليكن s متغيراً له توزيع χ^2 بدرجات حرية عددها ١٠. من الجدول نجد مايلى :

$$(أ) \quad \text{إذا كانت } L = P(\chi^2 < \chi^2) = ٠,١ \text{ فإن القيمة الحرجة } \chi^2 = ١٥,٩٨٧$$

$$(ب) \quad \text{الاحتمال } L = P(\chi^2 < ١٨,٣١) = ٠,٠٥$$

$$(ج) \quad \text{الاحتمال } L = P(٤,٨٧ < \chi^2 < ١٨,٣١) = ٠,٩٠ - ٠,٠٥ = ٠,٨٥$$

تقليد :

نكتب $\chi^2_{\alpha, n}$ (١٠)

للتعبير عن القيمة الحرجة χ^2 في توزيع χ^2 عند درجة الحرية n بحيث تكون مساحة المنطقة التي إلى يمينها مساوية للعدد α ، :

$$88,379 = \chi^2_{[0.01, 10]} , 11,070 = \chi^2_{[0.05, 10]} , 4,351 = \chi^2_{[0.9, 10]}$$

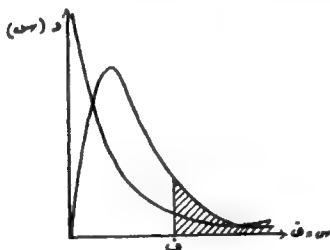
THE F-DISTRIBUTION (٣-٥) توزيع ف :

يقال لمتغير عشوائي F إن له توزيع ف إذا وفقط إذا كانت دالة كثافة احتماله معرفة بالقاعدة :


$$(11) \quad \frac{1 - \frac{1}{s}}{s} \times \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{r}{s} \right) ! (2 - r + 1) \frac{1}{s}}{(r + 1) \frac{1}{s} \left(\frac{r}{s} + 1 \right) ! (2 - r) \frac{1}{s}} = D(s)$$

حيث $\infty > s > 0$ ، $2 \leq r$ ، n عدنان صحيحان موجبان .

وهذا التوزيع له دليان هما r ، n يسميان بعددي درجات الحرية ، ويتحدد التوزيع تماماً إذا علمت قيمتي هذين الدليلين .



الشكل (٣-٥) منحنى توزيع المتغير ف

والمنحني الممثل للدالة $v = d$ (س) المعرفة في (١١) يختلف شكله بحسب قيمتي ٢، ٣ فهو يأخذ الشكل  إذا كانت ٢، ٣ صغيرتين جداً إلا أنه يصبح محدباً وملتوياً إلتواء شديداً إلى اليمين كلما زادت قيمتا ٢، ٣.

$$\frac{v}{2-v} = \mu = \text{الوسط الحسابي للتوزيع} \quad \text{حيث } v < 2 \quad (12)$$

جدول القيم الحرجة :

الجدول (٩) يملحق هذا الكتاب يعطى القيمة الحرجة ف. للتعديل وهي تلك القيمة التي تجعل مساحة المنطقة أسفل المنحني وفوق الفترة (ف. ، ∞) مساوية لقيمة معينة α عند درجتي الحرية ٢، ٣. أي أن العدد α يعبر عن المساحة عند الذيل الملتوى وبالتالي فهو يعبر عن احتمال وقوع قيم ف على يمين العدد ف. (انظر الشكل ٥-٣) ونكتب هذا رمزياً كالآتي :

$$L(F < \alpha) = \alpha \quad (13)$$

ويختلف تركيب هذا الجدول عن جدولتي χ^2 إذ يحمل الهامش الأفقي العلوي درجات الحرية ٢ ويحمل كل من العمودين الهامشين على جانبي الجدول درجات الحرية ٣ وعند كل من هذه الدرجات وضعت ثلاث قيم للعدد α هي ٠,٠٥ ، ٠,٠٢٥ ، ٠,٠١ وعند تقاطع كل عمود ٢ مع كل صف ٣ توجد ٣ قيم حرجة تناظر تلك القيم الثلاث .

وحين تكون درجتا الحرية ٢، ٣ معلومتين نستطيع من الجدول استخراج القيمة الحرجة ف. بمعلومية الاحتمال α أو استخراج قيمة الاحتمال α بمعلومية القيمة الحرجة .

مثال (٥-٣) :

ليكن π متغيراً له توزيع ف بدرجتي حرية ٧ ، ٩ .

(أ) إذا كانت ل (ف < ف.) = ٠,٠٥ فإن ف. = ٣,٢٩

(ب) إذا كانت ل (ف < ف.) = ٠,٠١ فإن ف. = ٥,٦١

(ج) الاحتمال ل (ف < ٤,٢) = ٠,٠٢٥

ملاحظة :

لا يعطى الجدول القيم الحرجة إلا عند ثلاث قيم للاحتمال α هي ٠,٠٥ ، ٠,٠١ ، ٠,٠٢٥ ولكن يمكننا أيضاً إيجاد تلك القيم عند الاحتمالات المكملة ٠,٩٥ ، ٠,٩٧٥ ، ٠,٩٩ باستخدام النظرية الآتية :

« إذا كان π متغيراً عشوائياً له توزيع ف بدرجتي حرية ٢ ، ٣ فإن المتغير $\frac{1}{\pi}$ يكون له توزيع ف بدرجتي حرية ٣ ، ٢ . ويمكن أن نكتب هذه النظرية كالاتي :

$$\frac{1}{F_{\alpha, \nu_2, \nu_1}} = F_{1-\alpha, \nu_1, \nu_2}$$

مثال (٥-٤) :

ليكن π متغيراً له توزيع ف بدرجتي حرية ٥ ، ٩ أوجد قيمة ف. بحيث

$$L(F < F.) = ٠,٩٥$$

الحل :

نلاحظ أن الاحتمال ٠,٩٥ ليس له وجود بالجدول أما الاحتمال المكمل ٠,٠٥ موجود به . المتباينة $F < F.$ تكافئ المتباينة $\frac{1}{F} > \frac{1}{F.}$ مع ملاحظة أن ف. ، ب. موجبان .

إذن لـ (ف < ف) = ك $\left(\frac{1}{3} > \frac{1}{3}\right) = ٠,٩٥$ فرضاً .

إذن لـ $\left(\frac{1}{3} \leq \frac{1}{3}\right) = ٠,٠٥$

من النظرية يكون لدينا متغير له توزيع ف بدرجتي حرية ٩ ، ٥

من الجدول نجد أن $\frac{1}{3} = ٤,٧٧$

إذن ف $= ٤,٧٧ \div ١ = ٠,٢٠٩٦$



الشكل (٥-٤)

تقليد :

(١٤)

نكتب

ف α [٥، م]

للتعبير عن القيمة الحرجة في توزيع ف عند درجتي الحرية م ، ن بحيث تكون مساحة المنطقة على يمينها مساوية للعدد α ، فمثلاً :

ف $٣,٦٩ = [٨, ٥]_{٠,٠٥}$ ، ف $٤,٨٢ = [٥, ٨]_{٠,٠٥}$ ، ف $١٤,٢ = [٤, ١٥]_{٠,٠١}$

لاحظ أن العدد الأول م يحدد العمود والعدد الثاني ن يحدد الصف .

تمارين (٥)

(١) أوجد كلا من القيم الحرجة الآتية :

(أ) $[١٢]_{٠,٠٥}$ ، $[١٢]_{٠,٠٢}$ ، $[١٠]_{٠,٠١}$ ، $[١٦]_{٠,٠١}$ ، $[٥٥]_{٠,٠٥}$

(ب) $\chi^2_{[٢٠]_{٠,٠٥}}$ ، $\chi^2_{[٣٥]_{٠,٠١}}$ ، $\chi^2_{[٣٦]_{٠,٠١}}$ ، $\chi^2_{[١]_{٠,٠٥}}$

(ج) ف $[٨, ٦]_{٠,٠٥}$ ، ف $[١٨]_{٠,٠٥}$ ، ف $[١٠, ١٠]_{٠,٠١}$ ، ف $[٤٤, ٣٠]_{٠,٠٥}$

(٢) أوجد كلا من الاحتمالات الآتية :

(أ) $P(T < 2,201)$

، $P(T < 2,201)$

(ب) $P(X < 52,19)$

، $P(X < 19,34)$

(ج) $P(F < 10,7)$

، $P(F < 8,5)$

حيث $n = 11$

حيث $n = 11$

حيث $n = 31$

حيث $n = 20$

حيث $n = 6$ ، $n = 5$

حيث $n = 30$ ، $n = 4$

الفصل السادس

نظرية العينات

THEORY OF SAMPLING

(٦-١) نظرية العينات :

تبحث نظرية العينات في العلاقات بين المجتمعات والعينات المأخوذة من هذه المجتمعات ، وقد حوت من النظريات والتوزيعات والأساليب ما يمكننا من تقدير أدلة المجتمعات أو مقارنتها أو إصدار قرارات أو تنبؤات بشأنها عن طريق دراسة وتحليل عينات مأخوذة منها مما يدخل تحت موضوع الاستدلال الإحصائي .

. STATISTICAL INFERENCE

ويقصد بالاستدلال الإحصائي أى إجراء يستخدم نظرية الاحتمال في إصدار قرارات عن مجتمع أو عدة مجتمعات عن طريق عينات مأخوذة منها مع تحديد درجة الثقة في هذه القرارات . ولعملية الاستدلال الإحصائي مجالان رئيسيان هما مجال تقدير بارامترات المجتمعات ومجال اختبار الفروض الإحصائية ، على أنه من الشروط الأساسية في هذه العملية أن تكون العينات عشوائية لأن جميع نظريات الاحتمال التي تعتمد عليها مؤسسة على فرض العشوائية . كما أنه كلما كبر حجم العينة كلما كان الاستدلال أكثر دقة .

ومن بين المسائل التي تبرز في الأبحاث التطبيقية وتحتاج إلى عملية الاستدلال الإحصائي ما يلي :

(أ) اختبار صواب أو خطأ فروض مطروحة عن أدلة المجتمعات .

(ب) تقدير متوسطات وتباينات المجتمعات وغيرها من الأدلة .

(ج) الكشف عما إذا كانت الفروق المشاهدة في العينات هي فروق راجعة إلى الصدفة أو تقلبات العينات أو هي فروق جوهرية تدل على وجود اختلاف حقيقي بين المجتمعات التي أخذت منها هذه العينات .

(د) الكشف عن تأثير واحد أو أكثر من العوامل أو المعالجات على متغير ما أو ظاهرة معينة .

(هـ) تقدير درجة ونوع العلاقة أو الارتباط بين المتغيرات وإصدار تنبؤات عنها .

وسوف نتدارس هذه المسائل وغيرها في هذا الفصل وما يليه من فصول ، بعد تقديم بضعة مفاهيم ونظريات تتطلبها الدراسة الواعية لتلك المسائل .

(٦-٢) توزيعات المعاينة :

في نظرية العينات نميز بين ثلاثة أنواع من التوزيعات .

Population Distribution

(١) توزيع المجتمع

Sample Distribution

(٢) توزيع العينة

Sampling Distribution

(٣) توزيع المعاينة

وليبيان الفرق بين هذه التوزيعات نفرض أننا نرغب في إيجاد الوسط الحسابي لدخل العائلة في مجتمع مدينة مؤلفة من ٢٠٠٠ عائلة . إذا أمكننا معرفة دخول جميع عائلات المدينة ووضعنا هذه الدخول في توزيع تكرارى فإن هذا التوزيع يسمى بتوزيع المجتمع للدخول . ونستطيع بالطبع أن نحصل مباشرة على الوسط الحسابى الحقيقى μ لدخل العائلة في مجتمع المدينة ، أو على أى دليل آخر يخص هذا المجتمع .

أما إذا اخترنا عينة من مجتمع هذه المدينة فإن التوزيع التكرارى لدخول العائلات في هذه العينة يسمى بتوزيع العينة . والوسط الحسابي \bar{x} لهذا التوزيع لا يكون عادة مساوياً للوسط الحسابي الحقيقي μ للمجتمع ، إلا أننا قد نأخذ هذا الوسط الحسابي تحت شروط معينة ، كتقدير للوسط الحسابي الحقيقي للمجتمع . وبطبيعة الحال تختلف الأوساط الحسابية للعينات المأخوذة من نفس المجتمع حتي ولو كانت من نفس الحجم .

أما إذا فرضنا أننا حصلنا من المجتمع على جميع العينات التي من نفس الحجم n وأوجدنا الوسط الحسابي لكل من هذه العينات ثم وضعنا هذه الأوساط في توزيع تكرارى فإن هذا التوزيع يسمى حينئذ بتوزيع المعاينة للوسط الحسابي (أو للأوساط الحسابية) للعينات ذوات الحجم n . ويمكننا أن نحسب الوسط الحسابي والانحراف المعياري ومعامل الالتواء ... لهذا التوزيع . وبالمثل يمكن أن نتصور توزيع المعاينة للتباين للعينات ذوات الحجم n أو توزيع المعاينة لأى مقياس آخر . في هذا المثال يستحيل عملياً إيجاد توزيع المعاينة للوسط الحسابي بالطريقة المذكورة لأن عدد العينات الممكنة هو عدد فلكى نعجز عن الحصول عليه . وفي المعتاد نحصل على توزيعات المعاينة بطرق رياضية ، إلا أنه لتوضيح مفهوم توزيع المعاينة نضرب المثال البسيط الآتي .

مثال (٦ - ١) :

يتألف مجتمع من ٦ أرباب أوزانها بالأوقيات ١١ ، ١٦ ، ١٢ ، ١٥ ، ١٦ ، ١٤ .

(أولاً) أوجد توزيع المعاينة للوسط الحسابي للعينات ذوات الحجم ٢ (اعتبر أن المعاينة مع الإرجاع) .

(ثانياً) أحسب الوسط الحسابي والتباين للتوزيع الناتج وقارنهما بالوسط الحسابي والتباين للمجتمع .

الحل :

(اولا) بما أن المعاينة مع الإرجاع أى مع رد كل عدد يؤخذ إلى المجتمع قبل أخذ عدد آخر فإن عدد العينات ذوات الحجم ٢ هو $6 \times 6 = 36$ لأن أى عدد من الأعداد الستة يمكن أن يقترن (في عينة حجمها ٢) بأى عدد من الأعداد الستة (بما في ذلك نفسه) وتكون جميع العينات الممكنة هي :

(١١،١١) ، (١٦،١١) ، (١٥،١١) ، (١٢،١١) ، (١٦،١١) ، (١٤،١١)
 (١١،١٦) ، (١٦،١٦) ، (١٥،١٦) ، (١٢،١٦) ، (١٦،١٦) ، (١٤،١٦)
 (١١،١٢) ، (١٦،١٢) ، (١٥،١٢) ، (١٢،١٢) ، (١٦،١٢) ، (١٤،١٢)
 (١١،١٥) ، (١٦،١٥) ، (١٥،١٥) ، (١٢،١٥) ، (١٦،١٥) ، (١٤،١٥)
 (١١،١٦) ، (١٦،١٦) ، (١٥،١٦) ، (١٢،١٦) ، (١٦،١٦) ، (١٤،١٦)
 (١١،١٤) ، (١٦،١٤) ، (١٥،١٤) ، (١٢،١٤) ، (١٦،١٤) ، (١٤،١٤)

الأوساط الحسابية لهذه العينات هي :

١٢,٥	،	١٣,٥	،	١٣	،	١١,٥	،	١٣,٥	،	١١
١٥	،	١٦	،	١٥,٥	،	١٤	،	١٦	،	١٣,٥
١٣	،	١٤	،	١٣,٥	،	١٢	،	١٤	،	١١,٥
١٤,٥	،	١٥,٥	،	١٥	،	١٣,٥	،	١٥,٥	،	١٣
١٥	،	١٦	،	١٥,٥	،	١٤	،	١٦	،	١٣,٥
١٤	،	١٥	،	١٤,٥	،	١٣	،	١٥	،	١٢,٥

ويمكن تلخيص هذه الأوساط في التوزيع التكرارى المبين بالعمودين الأول والثانى من الجدول (٦ - ١) وهذا هو توزيع المعاينة المطلوب .

الجدول (٦ - ١)

توزيع المعاينة للوسط الحسابي لأوزان ٦ أرباب للعينات من الحجم ٢

خطأ التقدير $K_s(\bar{S}_s - \bar{M})$	K_s	\bar{S}_s
٣ -	١	١١
٥ -	٢	١١,٥
٢ -	١	١٢
٣ -	٢	١٢,٥
٤ -	٤	١٣
٣ -	٦	١٣,٥
٠	٥	١٤
١	٢	١٤,٥
٥	٥	١٥
٦	٤	١٥,٥
٨	٤	١٦
صفر	٣٦	المجموع

(ثانياً) الوسط الحسابي لتوزيع المعاينة $\bar{M} = \frac{1}{N} \sum K_s \bar{S}_s$

$$\text{أى أن } \bar{M} = \frac{1}{36} (11 \times 1 + 11,5 \times 2 + \dots + 16 \times 4)$$

$$= \frac{504}{36} = 14 \text{ أوقية}$$

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} - \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \frac{1}{n} = \text{تباين توزيع المعاينة}$$

$$\text{أى أن } \sigma^2 = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] = \frac{1}{n} \left[\frac{11,0 \times 2 + 11 \times 1}{n} - (16 \times 4 + \dots + 11 \times 1) \right]$$

$$\frac{11}{n} =$$

$$\text{الوسط الحسابى للمجتمع } \mu = \frac{1}{n} (14 + 16 + 10 + 12 + 16 + 11) = 14$$

$$\text{تباين المجتمع } \sigma^2 = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] = \frac{11}{n}$$

بالمقارنة نجد ما يلى :

$$(أ) \quad \mu = \bar{\mu}$$

أى أن الوسط الحسابى لتوزيع المعاينة = الوسط الحسابى للمجتمع .

$$(ب) \quad \frac{\sigma^2}{n} = \sigma^2$$

أى أن تباين توزيع المعاينة = تباين المجتمع مقسوما على حجم العينة .

وهاتان النتيجةتان هما قاعدتان عامتان بالنسبة لتوزيع المعاينة للوسط الحسابى ويمكن إثباتهما رياضيا ، سواء كان المجتمع منتهيا والمعاينة مع الإرجاع أو كان لا نهائيا .

ملاحظة :

الأوساط الحسابية للعينات المأخوذة من مجتمع ما تختلف بطبيعة الحال عن بعضها البعض ، وحين نأخذ أحد هذه الأوساط \bar{x} لتقدير الوسط الحسابى μ للمجتمع يكون هناك خطأ فى التقدير قدره $\bar{x} - \mu$ ففى هذا المثال لدينا $\mu = 14$ وإذا قدرنا هذا المتوسط من متوسط العينة الأولى وهو 11 يكون هناك خطأ قدره $14 - 11 = 3$ وحين نقدره من متوسط العينة الثانية وهو 11,0

يكون هناك خطأ قدره $2 = (11,5 - 14) \times 2 = 2,5 - 5 = 0$ (مع ملاحظة أن هناك عينتين متوسط كل منهما $11,5$) وهكذا بالنسبة لأخطاء التقدير من متوسطات العينات الأخرى كما هو مبين بالعمود الثالث من الجدول $(6 - 1)$ ، حيث نلاحظ أيضا أن مجموع أخطاء التقدير هذه يساوى صفرا وهذا هو الذى أدى إلى المساواة (أ).

A statistic

(٦ - ٢ - ١) الإحصاءة

في المثال السابق كان لدينا 36 وسطا حسابيا $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{36}$ وسمينا التوزيع التكرارى لهذه المتوسطات بتوزيع المعاينة للوسط الحسابى للعينات ذوات الحجم 02 . ونحن نسحب عينة ما من مجتمع الأراب فإننا لا نعلم مقدما المتوسط الذى نحصل عليه منها بل يكون ذلك متروكا للصدفة. ولذلك ننظر إلى هذه المتوسطات على أنها قيم مشاهدة من متغير عشوائى \bar{x} ونسمى هذا المتغير حيثئذ بالإحصاءة \bar{x} ويكون التوزيع سابق الذكر هو توزيع المعاينة لهذه الإحصاءة.

كذلك إذا كانت $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots$ هي تباينات جميع العينات التى من نفس الحجم التى يمكن أن تؤخذ من مجتمع ما فإننا ننظر إليها كقيم متغير عشوائى \bar{x} ويكون توزيع هذه القيم هو توزيع المعاينة للإحصاءة \bar{x} . وبالمثل لأى مقياس إحصائى آخر.

Standard Error

(٦ - ٢ - ٢) الخطأ المعياري

يسمى الانحراف المعياري لتوزيع المعاينة لإحصاءة ما بالخطأ المعياري لهذه الإحصاءة. ففي المثال السابق الخطأ المعياري للوسط الحسابى أو للإحصاءة \bar{x} هو $\sigma_{\bar{x}} = \frac{11}{\sqrt{36}} = 1,83$ تقريبا. والأخطاء المعيارية تلعب دورا رئيسيا في نظرية العينات كما ستبين بعد.

نظراً لأن الوسط الحسابى \bar{x} للإحصاءة \bar{x} يساوى الوسط الحسابى μ للمجتمع ، نقول إن \bar{x} هو مُقدَّر غير متحيز للوسط الحسابى للمجتمع unbiased estimator كما نقول للوسط الحسابى \bar{x} لأى عينة عشوائية بأنه تقدير غير متحيز لمتوسط المجتمع ، وأى فرق $\bar{x} - \mu$ يعتبر كما سبق القول خطأً فى تقدير متوسط المجتمع من متوسط العينة ، ويقاس مدى دقة هذا التقدير بالخطأ المعيارى $\sigma_{\bar{x}}$ لتوزيع المعاينة للإحصاءة \bar{x} . لاحظ أن هذا الخطأ يتوقف على كل من σ ، n ويكون هذا الخطأ صغيراً إذا كانت σ صغيرة أو كان حجم العينة n كبيراً ومن ثم كان كبر العينة من العوامل الرئيسية لدقة التقدير .

وبصفة عامة إذا كنا نقدر أحد بارامترات مجتمع من عينة فإن التقدير يوصف بأنه غير متحيز إذا كان متوسط قيم هذا التقدير على جميع العينات العشوائية التى يمكن أخذها من المجتمع يساوى البارامتر الذى نقدره ، ومن الواضح أن هذه الصفة مطلوبة فى التقدير . وكما وجدنا أن \bar{x} تقدير غير متحيز للبارامتر μ نجد أن $E(\bar{x} - \mu) = 0$ تقدير غير متحيز للتباين σ^2 للمجتمع .

(٦ - ٣) المعاينة من مجتمعات معتمدة

Sampling From Normal Populations

إن الهدف الرئيسى من دراسة الإحصاء معرفة كيفية الحكم على المجتمعات وإصدار قرارات عنها عن طريق عينات مأخوذة منها ، وهذا ما سميناه بعملية الاستدلال الإحصائى . ولما كانت هذه العملية تتوقف على معرفتنا بتوزيعات الاحتمال للإحصاءات التى نستخدمها ، وجب علينا أن نحيط بهذه التوزيعات توطئة لتحقيق ذلك الهدف .

ومن أهم توزيعات المعاينة تلك التي تكون فيها المعاينة من مجتمعات معتدلة ،
وسنقدم في هذا البند عددا من هذه التوزيعات دون التعرض للبراهين الرياضية .

(أولاً) توزيع المعاينة للوسط الحسابي

Sampling Distribution of the Mean

إذا كان لدينا مجتمع معتدل وسطه الحسابي μ وانحرافه المعياري σ فإن توزيع
المعاينة للإحصاءة \bar{x} للعينات ذوات الحجم n المأخوذة من هذا المجتمع يكون
توزيعاً معتدلاً وسطه الحسابي μ وانحرافه المعياري $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (أى الخطأ المعياري) ،
وبالتالى فإن الإحصاءة

$$(1) \quad \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} = z$$

يكون توزيعها مطابقاً للتوزيع المعتدل المعياري . راجع الخاصة (ذ) بالبند
(٤ - ١) . والمفروض في هذه الإحصاءة أن تكون كل من μ ، σ معروفة القيمة .

كما أن الإحصاءة

$$(2) \quad \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} = z$$

يكون توزيعها مطابقاً لتوزيعات بدرجات حرية عددها $n - 1$. وتستخدم هذه
الإحصاءة حينما تكون σ مجهولة القيمة وهذا ما يحدث في أغلب الحالات ،
ونضطر حينئذ لاستخدام تباين العينة وهو

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right) \text{ كتقدير غير متحيز للتباين } \sigma^2 \text{ للمجتمع .}$$

(ثانياً) توزيع المعاينة للفرق بين وسطين حسابيين :

نفرض أن لدينا مجتمعين معتدلين وسطاهما الحسابيان μ_1 ، μ_2 وانحرافاهما المعياريان σ_1 ، σ_2 ، ونفرض أن الإحصاءة \bar{y}_1 ترمز إلى الوسط الحسابي لعينة عشوائية حجمها n_1 مأخوذة من المجتمع الأول وأن الإحصاءة \bar{y}_2 ترمز إلى الوسط الحسابي لعينة عشوائية حجمها n_2 مأخوذة من المجتمع الثاني . إذا كانت هاتان العينتان مستقلتين فإن توزيع المعاينة للإحصاءة $(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)$ يكون توزيعاً معتدلاً وسطه الحسابي $(\mu_1 - \mu_2)$ وانحرافه المعياري $\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ وبالتالي فإن الإحصاءة :

$$(3) \quad \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = z$$

يكون توزيعها مطابقاً للتوزيع المعتدل المعيارى .

والمفروض هنا أن تكون كل من μ_1 ، μ_2 ، σ_1 ، σ_2 معروفة القيمة .
كما أن الإحصاءة

$$(4) \quad \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = z$$

يكون توزيعها مطابقاً لتوزيع ت بدرجات حرية عددها $n_1 + n_2 - 2$

$$(1) \quad \frac{{}_2^2 \bar{e}_n (1 - {}_2 u) + {}_1^2 \bar{e}_n (1 - {}_1 u)}{{}_2 u - {}_2 u + {}_1 u} = \text{حيث } {}_2 \bar{e}_n$$

$$(1) \quad \frac{{}_2^2 (\bar{e}_n - {}_2 u) + {}_1^2 (\bar{e}_n - {}_1 u)}{{}_2 u - {}_2 u + {}_1 u} =$$

$$\text{وحيث } {}_2 \sigma = {}_1 \sigma$$

أما إذا كان ${}_2 \sigma \neq {}_1 \sigma$ فنستخدم الاحصاء

$$(5) \quad \frac{({}_2 \bar{e}_n - {}_2 \mu) - ({}_1 \bar{e}_n - {}_1 \mu)}{\sqrt{{}_2 u / {}_2^2 \bar{e}_n + {}_1 u / {}_1^2 \bar{e}_n}}$$

التي لها توزيع ت بدرجات حرية $\left(\frac{{}_2^2 \bar{e}_n}{{}_2 u} + \frac{{}_1^2 \bar{e}_n}{{}_1 u} \right)$

$$\left[(1 - {}_2 u) \div \left(\frac{{}_2^2 \bar{e}_n}{{}_2 u} \right) + (1 - {}_1 u) \div \left(\frac{{}_1^2 \bar{e}_n}{{}_1 u} \right) \right]$$

ملاحظة :

في المعاينة من أى مجتمع (ليس معتدلاً بالضرورة) نستطيع رياضياً إثبات ما
يلى اعتماداً على النظرية الشهيرة المسماة بنظرية النهاية المركزية central limit
theorem .

(أ) يقترب توزيع الإحصاء \bar{e}_n المعرفة في (١) من التوزيع المعتدل المعيارى
حين يقترب حجم العينة من اللانهاية :

(ب) يقترب توزيع الإحصاءة \bar{y} المعرفة في (٣) من التوزيع المعتدل المعياري حين تقترب كل من n_1 ، n_2 من اللانهاية .

إن المعنى التطبيقي لهاتين النظريتين أنه عند المعاينة من مجتمع غير معتدل وبشرط أن تكون العينات كبيرة الحجم (أكبر من ٣٠) يجوز عملياً اعتبار أن توزيع كل من \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 هو بالتقريب توزيع معتدل معياري ، وكلما كبر حجم العينات كلما قل الخطأ الناشئ عن هذا التقريب .

(ثالثاً) توزيع المعاينة لخارج قسمة تباينين :

إذا كانت الإحصاءتان \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 ترمزان إلى تبايني عينتين عشوائيتين مستقلتين مأخوذتين من مجتمعين معتدلين لهما نفس التباين ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) فإن الإحصاءة

$$(٦) \quad \frac{\bar{y}_1^2}{\bar{y}_2^2} = \bar{y}$$

يكون توزيعها مطابقاً لتوزيع ف بدرجتي حرية $n_1 - 1$ ، $n_2 - 1$ حيث n_1 ، n_2 هما حجم العينتين . ويلاحظ أنه إذا كانت \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 قيمتين مأخوذتين من عينتين عشوائيتين مستقلتين من مجتمع واحد أو من مجتمعين لهما نفس التباين فإن النسبة \bar{y}_1 / \bar{y}_2 تكون قريبة من الواحد لأن كلا من \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 تقدير لنفس التباين σ^2 .

(٦ - ٤) المعاينة من توزيع ذي الحدين :

SAMPLING FROM A BINOMIAL DISTRIBUTION

اعتبر مجتمعاً مقسماً إلى قسمين منفصلين من حيث وقوع أو عدم وقوع حدث معين أ . افرض أن احتمال وقوع هذا الحدث في أى تجربة واحدة هو مقدار ثابت ح واحتمال عدم وقوعه $k = 1 - ح$. حسب البند (٣ - ٣) وتحت الشروط

المذكورة يكون توزيع عدد مرات وقوع الحدث في n من التجارب هو توزيع ذي الحدين دليلاً n ، h ، وسطه الحسابي nh وانحرافه المعياري \sqrt{nh} h ويكون التكرار النسبي لوقوع هذا الحدث هو خارج قسمة عدد مرات وقوع الحدث على العدد n وعلى ذلك فإن متوسط هذه النسبة يساوي :

$$\frac{h}{n} = \frac{nh}{n} = h$$

وإذا أخذنا من هذا المجتمع جميع العينات ذوات الحجم n وحسبنا في كل منها القيمة h لعدد مرات وقوع ذلك الحدث ثم حسبنا نسبة هذا العدد وهو $r = \frac{h}{n}$ فإننا نحصل على توزيع المعاينة لهذه النسبة .

وقد رأينا في البند (٤ - ٦) أنه إذا كانت n كبيرة ولم تكن أى من h أو k قريبة من الصفر فإن :

(أ) توزيع الاحتمال لعدد مرات وقوع الحدث في العينات ذوات الحجم n يقترب من توزيع معتدل وسطه الحسابي nh ، وانحرافه المعياري \sqrt{nh} h k وبالتالي فإن توزيع الإحصاءة

$$(٧) \quad \frac{h - nh}{\sqrt{nh}} = z$$

يقترب من التوزيع المعتدل المعيارى مع (١، ٠) .

(ب) وبالمثل فإن توزيع الإحصاءة :

$$(٨) \quad \frac{h - nh}{\sqrt{nh}} = z$$

يقترب من التوزيع المعتدل المعيارى .

TESTS OF HYPOTHESES

(٦ - ٥) اختبارات الفروض :

الفرض الإحصائي : هو جملة أو مقولة نذكرها عن مجتمع أو عدة مجتمعات بهدف اختبار صواب أو خطأ هذه الجملة ، ولعرفة هذا الصواب أو هذا الخطأ نستعين بما يسمى باختبارات الفروض وهي اختبارات تبني على إحصاءات تكون توزيعاتها معروفة لنا مثل تلك التي وردت في البندين (٦ - ٣) و (٦ - ٤) السابقين .

واختبار الفرض هو بكل بساطة قاعدة تؤدي إلى اتخاذ قرار برفض أو قبول الفرض فور حصولنا على قيم مشاهدة في عينة عشوائية . وفي المعتاد نضع فرضاً نرمز له بالرمز F . نسميه بالفرض الصفري أو بفرض العدم $null hypothesis$ نصوغه بحيث يعبر عن انعدام الفرق بين شيئين ، مثلاً $\mu = \mu_1$ (أى $\mu - \mu_1 = 0$) أو $\mu = 1$ (أى $\mu - 1 = 0$) أو لا توجد علاقة بين متغيرين . وأى فرض يراد اختباراه ضد الفرض الصفري يسمى بالفرض الآخر أو بالفرض البديل $alternative hypothesis$ ويرمز له بالرمز F' وقد يأخذ هذا الفرض الشكل .

$$\mu \neq \mu_1 \text{ أو } \mu < \mu_1 \text{ أو } \mu > \mu_1 .$$

ولاختبار الفرض الصفري F ضد الفرض الآخر F' نبدأ باختيار إحصاء تناسب الفرض المختبر بشرط أن يكون توزيع المعاينة لهذه الإحصاء معلوماً لنا ثم نحدد في هذا التوزيع منطقة M يكون احتمال وقوع القيم المشاهدة لهذه الإحصاء فيها هو احتمال صغير α ، مثلاً 0.05 ، 0.01 ، 0.001 ، 0.0001 وتسمى هذه المنطقة بالمنطقة الحرجة أو بمنطقة الرفض $critical region$ or $region of rejection$ أما الاحتمال α فيسمى بمستوى الدلالة للاختبار $level of significance$ وتأخذ القاعدة التي يعطها الاختبار الصورة الآتية :

« إذا وقعت قيمة مشاهدة لهذه الإحصاء ، محسوبة على أساس صحة الفرض الصفري F ، داخل المنطقة الحرجة نرفض F . عند مستوى الدلالة α وإلا نقبل F . »

وذلك على أساس أن احتمال وقوع القيمة المشاهدة داخل المنطقة الحرجة هو احتمال ضئيل يجعلنا نشك في صحة الفرض الصفري . ونظراً لأن القيم المشاهدة يمكن أن تقع في أى جزء من التوزيع فإن هذه القاعدة تعنى أننا نغامر برفض الفرض الصفري (عند المستوى α) مع علمنا بأننا قد نكون مخطئين في رفضنا هذا ، وإن كان احتمال هذا الخطأ هو احتمال صغير لا يزيد عن α . أما إذا وقعت القيمة المشاهدة في المنطقة المكملة للمنطقة الحرجة ، وتسمى بمنطقة القبول ، فلا يسعنا إلا قبول الفرض ف. على أساس أن احتمال وقوع القيمة المشاهدة فيها هو احتمال كبير $1 - \alpha$.

وجدير بالملاحظة أنه بينما يمكننا الاختبار من هدم الفرض الصفري إلا أنه لا يستطيع أن يثبت صحته وكل ما يستطيع أن يفعله لصالح هذا الفرض هو أن يبين عدم وجود ما يتعارض معه من واقع العينة المستخدمة ، وحين نقول إننا نقبل ف. لا نعنى أننا أثبتنا صحته وإنما نعنى أن ما لدينا من بيانات لا تعطى دليلاً كافياً يدعو إلى رفضه ، وحين نقول إننا نرفض ف. فإننا لا نعنى أننا أثبتنا زيفه وإنما نعنى أن ما لدينا من بيانات لا تدعم صحته بل تشير إلى صحة الفرض الآخر ف. .

واختبار الفرض ف. عن مجتمع ضد فرض آخر ف. يستلزم بطبيعة الحال الحصول على عينة عشوائية من هذا المجتمع ، ويفضل اختيار قيمة α حتى قبل اختيار العينة . ويتوقف تحديدنا لقيمة α على طبيعة المشكلة التي نتناولها ودرجة المغامرة التي نقبلها لتحمل مسؤولية الخطأ المحتمل . وبصفة عامة يمكن تلخيص خطوات إجراء اختبار الفروض فيما يلي :

(أولاً) نحدد الفرض الصفري ف. والفرض الآخر ف. من واقع المشكلة التي نتناولها .

(ثانياً) نحدد الإحصاءة التي تناسب الفرض المختبر ونحدد المنطقة الحرجة م في توزيع هذه الإحصاءة بناء على مستوى الدلالة α السابق اختياره .

(ثالثاً) نحسب قيمة الإحصاءة من واقع البيانات المشاهدة في عينة عشوائية وعلى أساس أن الفرض الصفري صحيح .

(رابعاً) الاستنتاج : نتخذ قراراً برفض أو قبول الفرض الصفري ف . عند مستوى الدلالة α بحسب وقوع القيمة المحسوبة للإحصاءة داخل أو خارج المنطقة الحرجة .

ويجدر الإشارة هنا إلى أن اختبارات الفروض ما هي إلا وسيلة حسابية تستخدم البيانات التي حصلنا عليها من العينات لإلقاء الضوء على صحة أو خطأ الفرض الصفري ، وينبغي للباحث عند إصدار قراره أن يضيف إلى نتيجة الاختبار جميع ما لديه من معلومات وخبرات وأبحاث سابقة عن موضوع الدراسة .

كما يجدر الإشارة إلى أن حجم العينة يلعب دوراً هاماً في عملية الاستدلال الإحصائي . وحين تكون العينة صغيرة فإن اختبار الدلالة لا يؤدي إلى رفض الفرض الصفري إلا إذا كان هذا الفرض خاطئاً بدرجة كبيرة ، وبالعكس حين تكون العينة كبيرة فإن أى انحراف صغير عن الفرض الصفري يسهل اكتشافه كإنحراف ذي دلالة . وبصفة عامة يفضل أن يكون حجم العينة كبيراً بدرجة كافية منعا للوقوع فيما يسمى بالخطأ من النوع الثاني ، وهذا ما سوف نتناوله في الفصل السابع .

في البنود (٦ - ٦) ، (٦ - ٧) (٦ - ٨) الآتية نتناول ثلاثة من أشهر اختبارات الفروض تعرف باختبار t واختبار χ^2 (كاً) واختبار ف .

THE t-TEST

(٦ - ٦) اختبار ت :

هناك عدة إحصاءات تطابق توزيعاتها توزيع ت السابق دراسته . وإذا بني اختبار فروض على أى من هذه الإحصاءات قيل إنه اختبار ت . والصورة العامة لهذه الإحصاءات هي :

ت = القيمة المشاهدة للإحصاءة - الوسط الحسابي للإحصاءة
تقدير للخطأ المعياري للإحصاءة

بشرط أن يكون للإحصاءة توزيع معتدل وأن تكون القيمة المشاهدة هي تقدير غير متحيز لمتوسط الإحصاءة .

(٦ - ٦ - ١) اختبار فرض عن الوسط الحسابي لمجتمع معتدل :

مثال (٦ - ٢) :

تقضي التعليمات الحكومية بأن تكون الجرعة القياسية من مستحضر بيولوجي ٦٠٠ وحدة نشاط في الستيمتر المكعب . اختبرت عينة عشوائية حجمها ١٠ من إنتاج شركة ما ووجد أن متوسطها ٥٩٢,٥ وحدة نشاط في الستيمتر المكعب بانحراف معياري ١١,٢ وحدة . هل نستطيع القول بأن إنتاج هذه الشركة يتمشي مع التعليمات الحكومية ؟

الحل :

نريد أن نختبر ما إذا كان الوسط الحسابي μ لمجتمع المستحضر الذي تنتجه الشركة يساوي الجرعة القياسية التي حددتها التعليمات الحكومية وهي ٦٠٠ وحدة نشاط / سم^٣. تتبع الخطوات الأربع المشار إليها في البند السابق .

(١) الفرض الصفري ف : $\mu = 600$

الفرض الآخر ف_١ : $\mu \neq 600$

$\alpha = 0,05$ ،

(٢) لنهتدى إلى الإحصاءة المناسبة نذكر أننا نريد اختبار فرض عن قيمة الوسط الحسابي μ للمجتمع عن طريق قيمة الوسط الحسابي \bar{x} لعينة ونتوقع أنه إذا كان هذا الفرض صحيحاً فإن \bar{x} تكون قريبة من μ ، أى أننا نريد اختبار ما إذا كان الفرق بين μ ، \bar{x} هو فرق صغير نعزوه إلى الصدفة أو فرق جوهري (ذو دلالة

يدعونا إلى عدم الثقة في القيمة المفروضة للدليل μ . (هذا على أساس أن العينة هي عينة عشوائية ممثلة للمجتمع تمثيلاً جيداً وبالتالي فإن وسطها الحسابي \bar{x} هو عدد تثق فيه) . هذا التحليل يشير مباشرة إلى أن أنسب إحصاءة لقياس صغر أو كبر هذا الفرق هي الإحصاءة (٢) وهي :

$$t = \frac{\mu - \bar{x}}{\sqrt{s^2/n}}$$

التي نعلم أن توزيعها يطابق توزيع t بدرجات حرية عددها $\nu = n - 1$ ، مع ملاحظة أن هذه الإحصاءة تنعدم عندما تتساوى قيمتي μ ، \bar{x} وتكبر قيمتها المطلقة كلما كبر الفرق بينهما .

المنطقة الحرجة $\alpha = 2$: $|t| > t_{\alpha/2, \nu}$



الشكل (٦-١)

وهي تتألف من جزئين واقعين أسفل جانبي منحنى t واحتمال كل منهما $\alpha/2$. وبالتالي فإن احتمال وقوع قيمة الإحصاءة في هذه المنطقة هو احتمال صغير α .

(٣) نحسب قيمة هذه الإحصاءة من بيانات العينة وعلى أساس صحة الفرض الصفري . وإذا رمزنا لهذه القيمة بالرمز t_0 نجد أن :

$$t_0 = \frac{600 - 592.5}{\sqrt{10.2/11}} = 2.12 \text{ حيث } \nu = 10 = n - 1$$

فإذا كنا قد اخترنا $\alpha = 0,05$ نجد من جدول ت أن القيمة الحرجة التي تحدد منطقة الرفض هي : $2,262 = t_{0,05, 19}$

(٤) الاستنتاج : بما أن $t = 2,12$ لا تقع في المنطقة الحرجة لا يكون لدينا دليل ضد الفرض الصفري عند مستوى الدلالة $0,05$ أى أننا نقبل الفرض أن $\mu = 600$ ونقرر بأن إنتاج الشركة يتمشى مع التعليمات الحكومية .

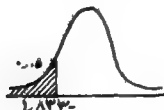
الاختبار ذو الجانب الواحد وذو الجانبين :

في المثال السابق اخترنا الفرض الصفري ف : $\mu = 600$ ضد الفرض ف : $\mu \neq 600$ وعلى ذلك كان لنا أن نرفض ف في حالتين هما : أن تكون $\mu < 600$ أو تكون $\mu > 600$ ولذلك شملت المنطقة الحرجة كلا جانبي توزيع ت . ونقول حينئذ إن الاختبار ذو جانبيين أو إنه اختبار غير اتجاهي .

ولكن إذا كانت زيادة وحدات النشاط في المستحضر البيولوجي عن المستوى القياسي لا ينتج عنها ضرر بينما النقصان عنه يفقد المستحضر فعاليته فإن اهتمامنا يكون منصّباً على ما إذا كان متوسط العينة أصغر صغراً ذا دلالة من المستوى القياسي . في هذه الحالة يكون المطلوب اختبار الفرض الصفري ف : $\mu = 600$ ضد الفرض ف : $\mu > 600$ وتكون المنطقة الحرجة في جانب واحد فقط من التوزيع هو الجانب الأيسر ، أى أن المنطقة الحرجة تكون في هذه الحالة على الصورة ،

$$\{t : t > t_{1-\alpha, n-1}\} = r$$

→ منطقة القبول ←



الشكل (٢-٦)

ونقول حيثذ إن الاختبار ذو جانب واحد أو إنه اختبار اتجاهى . فإذا كان مستوى الدلالة هو $\alpha = 0.05$ فإن القيمة التي تحد المنطقة الحرجة من اليمين وتجعل المساحة بينها وبين المنحنى 0.05 يمكن إيجادها من جدول ت باستخدام الاحتمال $\bar{\alpha} = 2 = \alpha = 0.10$.

من الجدول نجد أن ت $1.833 = [9]_{0.1}$

إذن القيمة التي تحد المنطقة الحرجة من اليمين هي 0.1833 .

بما أن $2.12 > 1.833$ فإن القيمة المشاهدة -2.12 تقع في المنطقة الحرجة وبالتالي نرفض الفرض الصفري ف عند مستوى الدلالة 0.05 لصالح الفرض الآخر ونقرر أن متوسط إنتاج الشركة يقل عن المستوى الذى تحدده التعليمات الحكومية .

ولا نعجب من اختلاف هذه النتيجة عن النتيجة السابقة لأن كلا منهما يجب على سؤال مختلف هو السؤال الذى تتطلب المشكلة الإجابة عنه .

وبالمثل يمكن أن يكون اهتمامنا منصبا على الجانب الأيمن فقط من التوزيع حيث تكون المنطقة الحرجة على الصورة $2 = \{ ت : ت > \alpha_{1-\alpha_2} \}$. وفي تناول أى مشكلة علينا أن نفكر جيداً قبل أن نحدد ما إذا كانت تتطلب اختباراً ذا جانب واحد أو ذا جانبين تحسباً من الوقوع في خطأ في عملية الاستدلال . وهذا التحديد ينبغي أن يتقرر عند تصميم التجربة وقبل جمع البيانات وبحسب التساؤل الذى تطرحه المشكلة . فمثلاً إذا كنا نقارن أداء مجموعة من الطلاب بمستوى معروف فإن اهتمامنا ينصب على معرفة ما إذا كانت المجموعة أحسن أو أسوأ من هذا المستوى ، وهنا يجب أن يكون الاختبار ذا جانبين . أما إذا كنا نقارن نوعاً جديداً من الدواء بنوع تقليدى فإن اهتمامنا يكون منصبا على معرفة ما إذا كان الدواء الجديد أفضل من التقليدى وهنا يجب أن يكون الاختبار ذا جانب واحد .

ملاحظة (١) :

يتطلب استخدام اختبارات هذه الصورة تحقق الشرطين الآتيين :

- (أ) أن تكون العينة عشوائية بسيطة .
(ب) أن يكون المجتمع معتدلاً (أو يمكن اعتباره معتدلاً) .

(٦ - ٢ - ٢) فترات الثقة للوسط الحسابي لمجتمع معتدل :

CONFIDENCE INTERVALS

إذا كان الوسط الحسابي μ لمجتمع ما مجهولاً ، يمكن تقديره بواسطة الوسط الحسابي \bar{x} لعينة عشوائية ذات حجم مناسب مأخوذة من هذا المجتمع ، ومثل هذا التقدير يسمى بالتقدير بنقطة point estimation ، ولكن نظراً لأن متوسطات العينات المأخوذة من نفس المجتمع تختلف من عينة إلى أخرى حتي ولو كانت العينات من نفس الحجم فإن هذا التقدير يشوبه بعض الصعوبات خاصة في تحديد مدى الثقة التي نضعها فيه .

ولذلك يفضل في كثير من الأحيان تقدير الوسط الحسابي وغيره من أدلة المجتمع عن طريق ما يسمى بالتقدير بفترة interval estimation حيث تحدد فترة يقع فيها الدليل المجهول بدرجة ثقة معينة .

حينما يكون المجتمع معتدلاً وسحبنا منه عينة عشوائية بسيطة حجمها n ووسطها الحسابي \bar{x} وانحرافها المعياري σ فإن الفترة :

$$(10) \quad \left(\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

تسمى بفترة ثقة بدرجة $(\alpha - 1)$ لمتوسط المجتمع μ . وهذه العبارة لا تعني أن احتمال وقوع μ في هذه الفترة هو $(\alpha - 1)$ لأن μ عدد ثابت لا توزيع له وإنما تفسر هذه العبارة كما يلي :

« إذا سحبنا جميع العينات التي من نفس الحجم وأوجدنا فترة الثقة بدرجة $(\alpha - 1)$ لكل منها فإن $(\alpha - 1)$ من هذه الفترات تشمل البارامتر μ » ، وهذا ما يمكن إثباته رياضياً .

ويسمى العددان $\bar{x} \pm \frac{E}{\sqrt{n}}$ ت $\alpha - 1$ اللذان يحذان فترة الثقة بحدى الثقة

بدرجة $(\alpha - 1)$ أما العدد $\frac{E}{\sqrt{n}}$ فهو تقدير للخطأ المعياري للإحصاء \bar{x} ، كما تسمى α بمعامل الثقة .

مثال (٦ - ٣) :

أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للوسط الحسابي μ لمجتمع المستحضر البيولوجي المذكور في المثال (٦ - ٢) من واقع البيانات المعطاة في هذا المثال .

الحل :

لدينا $n = ١٠$ ، $\bar{x} = ٥٩٢,٥$ ، $E = ١١,٢$ ، $\alpha - 1 = ٠,٩٥$ ومنها $\alpha = ٠,٠٥$

$$٠,٠٥ = \alpha \quad \text{ت } \alpha - 1 = ٠,٩٥ \quad \text{،} \quad ٢,٢٦٢ = \frac{E}{\sqrt{n}} = \frac{١١,٢}{\sqrt{١٠}} = ٣,٥٤$$

بالتعويض في (١٠) نجد أن :

$$\text{الحد الأدنى للفترة} = ٥٩٢,٥ - ٣,٥٤ \times ٢,٢٦٢ = ٥٨٤,٤٩$$

الحد الأعلى للفترة = $592,5 + 3,54 \times 2,262 = 600,51$ إذن الفترة (584,49 ، 600,51) هي فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لمتوسط المجتمع .

ملاحظة (٢) :

في المثال (٦ - ٢) قبلنا الفرض أن $\mu = 600$ ضد الفرض $\mu \neq 600$ عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ونلاحظ أن العدد 600 يقع في فترة الثقة التي أوجدناها في المثال (٦ - ٣) ، والواقع أن أى عدد نفرضه عن متوسط المجتمع μ يكون مقبولا عند المستوى ٠,٠٥ طالما كان واقعاً في هذه الفترة . تحقق من ذلك باختبار بعض القيم المناسبة واختبارها كما بالبند (٦ - ٦ - ١) .

(٦ - ٦ - ٣) مقارنة متوسطي مجتمعين معتلدين :

(أو اختبار دلالة الفرق بين متوسطي عيّنتين مستقلتين مأخوذتين من مجتمعين معتلدين) .

مثال (٦ - ٤) :

في دراسة عن نبات حنك السبع كان المطلوب مقارنة الوسط الحسابي للنباتات ذات الزهور الحمراء من النوع Suttons Eclipse بالوسط الحسابي للنباتات ذات الزهور البيضاء من النوع Suttons Intermediate White وقد نتجت البيانات الآتية من عيّنتين عشوائيتين مستقلتين .

ذات الزهور الحمراء : $\bar{y} = 43$ ، $\bar{x} = 134,76$ ، $s^2 = 32,35$

ذات الزهور البيضاء : $\bar{y} = 21$ ، $\bar{x} = 169,50$ ، $s^2 = 62,93$

اختبر ما إذا كان الفرق المشاهد بين متوسطي العيّنتين يرجع إلى تقلبات العينات أو إلى وجود فرق حقيقي بين المتوسطين μ_1 ، μ_2 للمجتمعين اللذين سحبت منهما العيّتان . افترض اعتدالية المجتمعين وتساوى تباينهما وخذ $\alpha = 0,05$

الحل :

الفرض الصفري ف: $\mu_1 = \mu_2$ (لا يوجد فرق بين متوسطي المجتمعين)

الفرض الآخر ف: $\mu_1 \neq \mu_2$ (اختبار ذو جانبيين)

الإحصاء المناسبة هنا هي الإحصاءة (٤) وهي :

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}}$$

$$s_p^2 = \frac{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}{2}$$

التي نعلم أن توزيعها يطابق توزيع ت بدرجات حرية عددها $\nu = n_1 + n_2 - 2$

$$\frac{s_p^2 (1 - \alpha) + s_p^2 (1 - \alpha)}{2 - \nu + 1} = s_p^2$$

على فرض أن تبايني المجتمعين متساويان

$$\{t : |t| < t_{\alpha/2, \nu}\}$$

نحسب ت_٢ من بيانات العينة وعلى أساس صحة الفرض الصفري .

$$t_2 = \frac{162,93 \times 20 + 132,35 \times 42}{62} = 1986,4135$$

$$1986,4135 =$$

$$\therefore t_2 = 44,069$$

$$11,855 = \frac{1}{21} + \frac{1}{43} \sqrt{44,069} = \frac{1}{21} + \frac{1}{43} \sqrt{44,069}$$

$$\therefore t_2 = \frac{169,50 - 134,76}{11,855} = 2,93 \text{ حيث } \nu = 2 - 21 + 43 = 62$$

من جدول ت نجد أن ت_{٢,٠٠٠=١٦٧,٠٠٥}

بما أن $2.93 > 2$ فإن القيمة $t = 2.93$ تقع في المنطقة الحرجة (في الجانب الأيسر) وإذن نرفض الفرض الصفري $F: \mu_1 = \mu_2$ عند مستوى الدلالة 0.05 ونقرر أن العينتين مأخوذتان من مجتمعين مختلفين في وسطهما الحسابي.

ملاحظة (٣)

يتطلب استخدام اختبار t بهذه الصورة تحقق الشروط الآتية :

- (أ) أن تكون كل من العينتين عشوائية بسيطة .
- (ب) أن تكون كل من العينتين مأخوذة من مجتمع معتدل .
- (ج) أن تكون العيتمان مستقلتين .
- (د) أن يكون تباين المجتمعين متساويان .

إذا لم تكن العيتمان مستقلتين فإن اختبار t للمقارنة بين متوسطي المجتمعين يأخذ الصورة التي سترد في البند (٨ - ٧ - ١) القادم .

فترات الثقة للفرق بين متوسطي مجتمعين محدلين :

يمكن إثبات أنه تحت الشروط المذكورة ، يصلح العدادان :

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (11)$$

كمحددين لفترة ثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ للفرق $(\mu_1 - \mu_2)$ بين متوسطي المجتمعين،

حيث $z_{\alpha/2} = \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ هو تقدير للخطأ المعياري للإحصاء $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$

ففي المثال (٦ - ٤) نجد أن :

$$\text{الحد الأدنى لفترة الثقة} = (١٦٩,٥ - ١٣٤,٧٦) - ٢ \times ١١,٨٥٥ = ١١,٠٣$$

$$\text{الحد الأعلى لفترة الثقة} = (١٦٩,٥ - ١٣٤,٧٦) + ٢ \times ١١,٨٥٥ = ٥٨,٤٥$$

أى أننا يمكن أن نأخذ الفترة (١١,٠٣ ، ٥٨,٤٥) كفترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للفرق بين متوسطى المجتمعين .

تمارين (٦ - ١)

في المسائل الآتية اعتبر أن المجتمعات معتدلة وأن العينات عشوائية ومستقلة وأن مستوى الدلالة $\alpha = ٠,٠٥$ ما لم يذكر غير ذلك .

(١) وزنت ١٩ عذراء جردة فكانت الأوزان كما يلى بالجرامات :

$$٠,٦٧ \quad ٠,٩٥ \quad ١,١٨ \quad ١,٠٥ \quad ١,٢٢ \quad ٠,٨٢ \quad ٠,٩٣ \quad ٠,٦٨ \quad ٠,٥٢ \quad ٠,٧٠$$

$$٠,٥٧ \quad ٠,٥٩ \quad ٠,٣٥ \quad ٠,٩٢ \quad ٠,٦٧ \quad ٠,٥٤ \quad ١,١٢ \quad ٠,٨٩ \quad ٠,٨٤$$

(أ) اختبر الفرض أن الوسط الحسابي للوزن في مجتمع هذه الحشرة هو

$$\mu = ١ \text{ ضد كل من الفرضين الآتين (١) } \mu \neq ١, \text{ (٢) } \mu > ١$$

(ب) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للدليل μ .

(٢) باستخدام عينة حجمها $n = ١٥$ ووسطها الحسابي $\bar{x} = ٨٥,٣$ وتباينها

$\sigma^2 = ١٣$ اختبر الفرض أن متوسط المجتمع $\mu = ٨٠$ وأوجد فترة ثقة بدرجة

٩٩٪ لهذا المتوسط .

(٣) في عينة عشوائية من ٢٠ شخصاً يعالجون من مرض معين وجد أن عدد

الكريات الدموية البيضاء مقدرة بالآلاف كالتالى . أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪

لمتوسط عدد الكريات البيضاء في مجتمع هؤلاء المرضى .

$$٨ \quad ٧ \quad ١٣ \quad ٨ \quad ٦ \quad ٤ \quad ١٢ \quad ٧ \quad ٩ \quad ١٠ \quad ٧ \quad ٨$$

$$١١ \quad ٥ \quad ١٠ \quad ١٥ \quad ١٣ \quad ١٢ \quad ١٠$$

(٤) في بحث ثبات reliability إحدى طرق القياس في تجارب التبريد وجدت القيم الآتية لدرجات الحرارة في عيتين أ ، ب :

أ : ١٠٦,٩ ١٠٦,٣ ١٠٧,٠ ١٠٦,٠ ١٠٤,٩

ب : ١٠٦,٥ ١٠٦,٧ ١٠٦,٨ ١٠٦,١ ١٠٥,٦

هل الفرق بين متوسطي العيتين ذو دلالة عند المستوى ٠,٠٥ ؟
(لتسهيل حساب التباين اطرح ١٠٠ من جميع الأعداد) .

(٥) أخذت عبتان متكافئتان من الأبقار ووضعنا تحت نفس الظروف فيما عدا أنهما أعطيتا نوعين مختلفين من الغذاء ، فكانت الزيادة في الأوزان بالأرطال بعد شهرين كما يلي :

العينة الأولى : ٣٣ ٦٦ ٢٦ ٤٣ ٤٦ ٥٥ ٥٤

العينة الثانية : ٥٣ ٥٣ ٣٧ ٧٣ ٥٨ ٦١ ٣٨

(أ) هل يمكن القول بأن نوعي الغذاء لا يختلفان في متوسط الزيادة في وزن الأبقار ؟

(ب) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للفرق بين متوسطي المجتمعين .

(٦) طرح فرض بأن متوسط عدد الزهور الشعاعية ray florets في زهرة ما هو $\mu = ٥٠$. أخذت عينة حجمها ٥١ من هذه الزهرة فوجد أن متوسط عدد الزهور الشعاعية ٤٤,٣٣ بانحراف معياري ٥,١٦٧

(أ) اختبر الفرض أن $\mu = ٥٠$

(ب) اختبر الفرض أن $\mu > ٥٠$

(ج) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للدليل μ

(د) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ للدليل μ

(٦ - ٦ - ٤) اختبار استقلال الأحداث النادرة :

نعلم أنه في توزيع بواسون يتساوى التباين والوسط الحسابي أى أن النسبة بينهما تساوى الواحد الصحيح - راجع الخاصة (٩) من البند (٣ - ٤) . وفي تناولنا للأحداث النادرة في البندين (٣ - ٤ - ٢) ، (٣ - ٤ - ٣) علمنا أن الأحداث النادرة تتوزع بواسونياً بشرط أن تقع مستقلة عن بعضها بمعنى أن يكون وقوع هذه الأحداث غير متأثر إلا بالعوامل العشوائية وحدها . وفي كثير من التطبيقات يكون من المرغوب فيه الكشف عن هذه الاستقلالية ثم بحث ما قد يوجد من أنماط نتيجة لعدم توفر هذه الخاصة - راجع البند (٣ - ٤ - ٣) . ولتحقيق هذا الغرض نحصل على عينة عشوائية من تلك الأحداث وليكن حجمها n ووسطها الحسابي \bar{x} وتباينها s^2 ونضع الفرض الصفري أن هذه الأحداث تقع عشوائياً مستقلة عن بعضها وبالتالي تتوزع بواسونياً وتكون النسبة بين التباين والوسط الحسابي في المجتمع هي $1 = \frac{s^2}{\bar{x}}$ فإذا كان هذا الفرض صحيحاً فإن النسبة $\frac{s^2}{\bar{x}} = 1$ / ست المشاهددة في العينة ينبغي أن تكون قريبة من الواحد الصحيح ، أما إذا كان هذا الفرض خاطئاً فإن الفرق بين هذه النسبة والواحد يكون فرقاً ذا دلالة .

ولاختبار صحة الفرض $1 = \frac{s^2}{\bar{x}}$ نستخدم الإحصاءة

$$T = \frac{1 - \frac{s^2}{\bar{x}}}{\sqrt{\frac{2}{n-1}}} \quad (١٢)$$

التي يمكن إثبات أن توزيعها يطابق توزيع T بدرجات حرية عددها $n - 1$. ويجمل بنا أن نستخدم اختباراً ذا جانب واحد لأن المطلوب هنا معرفة ما إذا كانت

ح أكبر من الواحد (أو أقل من الواحد) للمساهمة في تفسير ما قد يوجد من أنماط .

مثال (٦ - ٥) :

اعتبر عينة عشوائية حجمها ٤٠٠ من الأحداث النادرة . اعتبر عشوائية (استقلال) هذه الأحداث عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ في كل من الحالتين الآتيتين :

- (أ) إذا كان الوسط الحسابي للعينة ١,٨ والتباين ١,٩٦٥ .
(ب) إذا كان الوسط الحسابي للعينة ٣,٣ والتباين ٢,١٥ .

الحل :

$$(أ) \chi^2 = \frac{1,965}{1,8} = 1,092$$

الفرض الصفري ف : $\chi = 1$

الفرض الآخر ف : $\chi < 1$

من (١٢) نجد أن :

$$t = \frac{1 - 1,092}{0,071} = 1,296$$

من الجدول (٧) نجد أن ت $1,296 > 1,645$

بما أن $1,296 > 1,645$ لا يكون لدينا دليل ضد الفرض الصفري $\chi = 1$ ولا يسعنا إلا قبوله . وهذا يعني أن الأحداث تتوزع بواسونياً وبالتالي تقع عشوائياً مستقلة عن بعضها البعض .

$$(ب) \chi^2 = \frac{2,15}{3,3} = 0,652$$

$$ف: ح = ١$$

$$ف: ح > ١$$

$$ت = \frac{١ - ٠,٦٥٢}{٠,٠٧١} = ٤,٩٠١$$

بما أن $٤,٩٠١ > ١,٦٤٥$ نرفض الفرض الصفري عند المستوى $٠,٠٥$ ونستنتج أن الأحداث لا تتوزع بواسونياً وبالتالي لا تقع مستقلة عن بعضها البعض ، وأغلب الظن يكون هناك غلط من نوع التنافر .

THE CHI-SQUARE TEST

(٦ - ٧) اختبار χ^2

في كثير من الأبحاث نتناول مجتمعاً صنفنا عناصره بحسب خاصية أو صفة ما إلى $م$ من الأقسام المنفصلة $١, ٢, \dots, م$ ، أم ويكون المطلوب اختبار ما إذا كان هذا المجتمع له نموذج معين من حيث هذه الخاصية ، أى يكون المطلوب اختبار الفرض أن التكرارات النسبية في هذه الأقسام (في المجتمع) لها مقادير معينة $ح١, ح٢, \dots, حم$ على الترتيب .

إذا كان هذا الفرض صحيحاً فإننا لو سحبنا عشوائياً من المجتمع عنصراً واحداً لكان احتمال انتهاء هذا العنصر إلى القسم ١ هو $ح١$. واحتمال انتهائه إلى القسم ٢ هو $ح٢$. واحتمال انتهائه إلى القسم ٣ هو $ح٣$. واحتمال انتهائه إلى القسم ٤ هو $ح٤$. وإذا سحبنا عينة عشوائية حجمها $ن$ فإننا نتوقع أن يكون $ن١$ من عناصرها منتبهاً إلى القسم ١ ، $ن٢$ منها منتبهاً إلى القسم ٢ ، $ن٣$ منها منتبهاً إلى القسم ٣ ، $ن٤$ منها منتبهاً إلى القسم ٤ . نفرض أننا قمنا فعلاً بسحب عينة عشوائية حجمها $ن$ ووجدنا أن عدد العناصر التي انتهت إلى الأقسام $١, ٢, \dots, م$ هي على الترتيب $ك١, ك٢, \dots, كم$. إن هذه الأعداد تسمى بالتكرارات المشاهدة ، أما الأعداد $ن١, ن٢, \dots, نم$ فهي التكرارات النظرية المتوقعة لها . وعلى ذلك فإن

اختبار الفرض المذكور يمكن أن يؤسس على المقارنة بين هذين النوعين من التكرارات .

والإحصاء المناسبة لذلك هي :

$$ص_1 = \frac{ع_1 - ع_2}{ع_1} \quad \text{حيث } ع_1 = ع_2 \quad (13)$$

$$\text{وحيث } ع_1 = ع_2 = ع \quad (14)$$

التي يمكن إثبات أن توزيعها يقترب من توزيع χ^2 بدرجات حرية (م - 1) كلما اقتربت ه من اللانهاية .

ولصحة استخدام هذه الإحصاء ينبغي أن تتحقق الشروط الآتية :

(أ) أن تكون العينة عشوائية .

(ب) ألا يقل حجم العينة عن 40 (لأن توزيع الإحصاء $ص_1$ تقريبي) .

(ج) ألا تقل أى $ع_1$ عن خمسة ، على أنه إذا وجدت قيمة $ع_1$ تقل عن خمسة تضم هذه القيمة إلى قيمة مجاورة لها ، ونفعل ذلك لقيم $ع_2$ المناظرة .

وجدير بالملاحظة أن (13) لا تساوى الصفر إلا إذا كانت $ع_1 = ع_2$ لجميع ر وتزيد قيمتها كلما كبرت الفروق بين $ع_1$ ، $ع_2$.

إن الفرض الصفري ف. هنا هو عدم وجود فرق بين التكرارات المشاهدة $ع_1$ والتكرارات $ع_2$ المتوقعة لها . أما الفرض الآخر ف. فهو أن هنالك تفاوتاً بين هذين النوعين من التكرارات يجعل القيمة المشاهدة للإحصاء (13) كبيرة كبراً ذا دلالة . وعلى ذلك تأخذ المنطقة الحرجة الصورة الآتية :

$$\{ \chi^2_{\alpha} < \chi^2 : \chi^2 \} = \alpha$$

حيث α ترمز إلى درجات الحرية .



الشكل (٩-٣)

حساب درجات الحرية :

نعلم أن توزيع χ^2 يتوقف كلية على عدد درجات الحرية ν . ولايجاد هذا العدد نحسب عدد المقارنات المستقلة بين k_1, k_2, \dots, k_r (حيث $r = 1, 2, \dots, \dots$) ونظراً لأن حجم العينة n هو مقدار ثابت معروف مقدماً فإن التكرارات k_r (أو q_r) لا تكون جميعها مستقلة إذ نستطيع إذا عرفنا $(m - 1)$ منها أن نعرف من المتساوية (١٤) التكرار الباقي . وعلى هذا فإن عدد المقارنات المستقلة هو $m - 1$. فإذا كانت القيمة المشاهدة للإحصاء (١٣) قد حسبت اعتماداً على حجم العينة فقط فإن $\nu = m - 1$.

وكقاعدة عامة كل قيد خطي تتقيد به القيم الداخلة في تركيب الإحصاء (١٣) ينقص واحداً من درجات الحرية ، ولقد كان ثبات حجم العينة هو أحد هذه القيود . وإذا كنا قد احتجنا لحساب القيم المتوقعة إلى واحد أو أكثر من أدلة المجتمع المجهولة واضطررنا إلى تقديرها من العينة فإننا نكون قد قيدنا أنفسنا بالعينة التي بأيدينا وبالتالي فإن كلا من هذه التقديرات يشكل قيداً على التوزيع ينقص واحداً من درجات الحرية . وكطريقة إجرائية سهلة ، نحسب عدد درجات الحرية كالآتي :

$\nu =$ عدد المقارنات المستقلة - عدد الأدلة التي قدرت من العينة (١٥)

.. فيما يلي ثلاثة تطبيقات تستخدم اختبار χ^2 بالصيغة المبينة في (١٣) .

(٦ - ٧ - ١) اختبار فرض عن توزيع مجتمع :

مثال (٦ - ٦) :

في أحد تجارب مندل الشهيرة في تهجين النباتات نتج من نبات البسلة ما يلي :
 ٣١٥ نباتاً مستديراً أصفراً ، ١٠٨ مستديراً أخضر ، ١٠١ مجعداً أصفراً ، ٣٢
 مجعداً أخضر . وطبقاً لنظرية مندل يجب أن تكون أعداد هذه الأنواع متناسبة
 مع ٩ : ٣ : ٣ : ١ . هل هناك دليل يدعو إلى الشك في نظرية مندل من واقع
 هذه البيانات ؟ استخدم مستوى الدلالة ٠,٠٥ .

الحل :

لدينا ٣١٥ + ١٠٨ + ١٠١ + ٣٢ = ٥٥٦ نباتاً (حجم العينة) .

إذا كانت نظرية مندل صحيحة ، تتوزع هذه النباتات بالنسب ٩ : ٣ : ٣ : ١ :
 كالآتي :

$$\text{مستدير أصفر} = \frac{9}{16} \times 556 = 312,75$$

$$\text{مستدير أخضر} = \frac{3}{16} \times 556 = 104,25$$

$$\text{مجعد أصفر} = \frac{3}{16} \times 556 = 104,25$$

$$\text{مجعد أخضر} = \frac{1}{16} \times 556 = 34,75$$

التكرارات المشاهدة χ^2 : ٣١٥ ١٠٨ ١٠١ ٣٢

التكرارات المتوقعة χ^2 : ٣١٢,٧٥ ١٠٤,٢٥ ١٠٤,٢٥ ٣٤,٧٥

الفرض الصفري F_0 : نظرية مندل صحيحة .

الفرض الآخر F_1 : نظرية مندل غير صحيحة وبالتالي تكون القيمة
 المشاهدة للإحصاء (١٣) كبيرة جداً ذا دلالة .

$$\chi^2 = \frac{(34,75-32)^2}{34,75} + \frac{(104,25-101)^2}{104,25} + \frac{(104,25-108)^2}{104,25} + \frac{(312,75-315)^2}{312,75} = 0,47$$

$$\chi^2 = 1 - \epsilon = 0.3$$

$$\chi^2 = 7.82 \text{ من جدول } \chi^2 \text{ نجد أن } \chi^2_{0.05, 3} = 7.82$$

العدد ٠,٤٧ يقل كثيراً عن ٧,٨٢ (لا يقع في منطقة الرفض) وإذن لا يمكن رفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ وبالتالي نقبله ونقرر أنه لا يوجد دليل يدعو إلى الشك في نظرية مندل وأن نتيجة هذه التجربة تدعم هذه النظرية .

مثال (٦ - ٧) :

المفروض في جداول الأعداد العشوائية أن تظهر الأرقام ٠، ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩ باحتمالات متساوية . بفحص إحدى صفحات أحد هذه الجداول وجد التوزيع الآتي :

الرقم	٠	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
التكرار	١٧	٣١	٢٩	١٨	١٤	٢٠	٣٥	٣٠	٢٠	٣٦

اختبر الفرض أن الأرقام العشرة تظهر باحتمالات متساوية مستخدماً مستوى الدلالة ٠,٠١

الحل :

مجموع الأرقام التي بالصفحة = ١٧ + ٣١ + ٢٠ + ٣٦ = ١٠٤ رقمياً
إذا كانت الأرقام العشرة تظهر باحتمالات متساوية فإن كلا منها يجب أن يظهر ١٠.٤ = ١٠٤ ÷ ١٠ مرة .

أي أن التكرارات المتوقعة على أساس صحة هذا الفرض هي ١٠.٤ لكل من الأعداد العشرة .

$$\frac{(25-36)^2}{25} + \dots + \frac{(25-31)^2}{25} + \frac{(25-17)^2}{25} = \chi^2$$

$$23,3 = \text{حيث } 9 = 1 - 10 = 9$$

$$21,666 = \chi^2_{[9], 0,01}$$

بما أن 23,3 أكبر من 21,666 نرفض الفرض الصفري عن تساوى احتمالات ظهور الأرقام العشرة عند مستوى الدلالة 0,01. ويتضمن هذا أن هناك شك في دقة هذا الجدول.

(٦ - ٧ - ٢) اختبار حسن المطابقة

TEST OF GOODNESS OF FIT

يقصد بهذا الاختبار تحديد مدى ملائمة توزيع نظري معروف مثل ذى الحدين وبواسون والمعتدل ، لتوزيع تكرارى مشاهد في عينة ، بهدف التحقق من صلاحيته كتوزيع للمجتمع الذى أخذت منه العينة .

مثال (٦ - ٨) :

اختبر الفرض القائل أن إنجاب الذكور وإنجاب الإناث متساويا الاحتمال من واقع البيانات المعطاة في المثال (٣ - ٥) عن العائلات ذوات الأربعة الأطفال وهى :

عدد الذكور في العائلة	٥	٤	٣	٢	١	٠	س : ٤
عدد العائلات	١٣	٤٣	٩٢	١١٢	٦٠	ل : ١٣	

الحل :

على فرض صحة الفرض الصفري أن إنجاب الذكور وإنجاب الإناث متساويا الاحتمال يكون احتمال إنجاب الذكور ح = $\frac{1}{2}$ ويكون توزيع عدد الذكور في العائلات

ذوات الأربعة الأظفار هو توزيع ذى الحدين دليلاً ٤ ، ١ - ٠ . وقد وجدنا في المثال (٣ - ٥) أن هذا التوزيع هو :

عدد الذكور في العائلة س : ٠ ١ ٢ ٣ ٤
عدد العائلات ق : ٢٠ ٨٠ ١٢٠ ٨٠ ٢٠

$$\chi^2 = \frac{(20-60)^2}{20} + \frac{(80-112)^2}{80} + \frac{(120-92)^2}{120} + \frac{(80-42)^2}{80} + \frac{(20-12)^2}{20}$$

$$= 118,89 \quad \text{حيث } p = 1 - 0 = 1$$

$$\chi^2_{[4],0,1} = 13,277$$

بما أن $118,89 < 13,277$ نرفض صحة الفرض أن احتمال إنجاب الذكور يساوى احتمال إنجاب الإناث ، وذلك عند مستوى الدلالة ٠,٠١ .

مثال (٦ - ٩) اختبار الاعتدالية : TEST OF NORMALITY

اختبر ما إذا كان من الممكن اعتبار العينة المعطاة في المثال (٤ - ٤) مأخوذة من مجتمع معتدل .

الحل :

في ذلك المثال وقفنا توزيعاً معتدلاً للتوزيع المعطى ووجدنا ما يلي :

٨	١٥	١٦	١٤	١١	٦	٦	التكرارات المشاهدة لـ
١٢,٤٧	١٥,٥٧	١٣,٦٦	١٢,٩٨	٩,٦١	٦,٥٤	٦,٨١	التكرارات المتوقعة لـ
٦	٨			١٠			التكرارات المشاهدة لـ
٦,٥٥	٦,٣٧			٩,٤٤			التكرارات المتوقعة لـ

$$\chi^2 = \frac{(1,00-1)^2}{1,00} + \frac{(1,37-1)^2}{1,37} + \dots + \frac{(1,04-1)^2}{1,04} + \frac{(1,81-1)^2}{1,81} = 2,9427$$

بما أننا كنا قد قدرنا من العينة اثنين من أدلة المجتمع هما الوسط الحسابي والانحراف المعياري فإن عدد درجات الحرية $\nu = 2 - (1 - 1) = 2$.

$$\chi^2_{(2), 0.05} = 5,99$$

بما أن $2,9427 < 5,99$ لا نستطيع رفض الفرض الصفرى عن اعتدالية المجتمع عند مستوى الدلالة 0,05.

ملاحظة (١) :

إن عيب اختبار χ^2 لحسن المطابقة أنه لا يهتم بإشارات الفروق بين التكرارات المشاهدة O_i والتكرارات النظرية E_i (لأنه يأخذ مربعات هذه الفروق) ففي توفيق توزيع معتدل مثلاً قد يحدث أن تكون قيم O_i أصغر من قيم E_i في الجزء الأوسط من التوزيع وتكون أكبر منها في الطرفين وهذا يعني أن التوزيع المشاهد أكثر انبساطاً من التوزيع المعتدل أى يأخذ شكلاً يختلف عن شكل التوزيع المعتدل. ومع هذا قد تكون قيمة χ^2 ليست بذات دلالة وتدعونا إلى اعتبار أن المجتمع معتدل. ولهذا لا يكون الاختبار مناسباً إلا إذا لم يكن هناك نمط معين للفروق بين O_i و E_i .

(٦ - ٧ - ٣) اختبار استقلال خاصيتين :

TEST OF INDEPENDENCE

في بعض الدراسات نتناول مجتمعاً صنفت عناصره بحسب خاصية ما إلى م من الأقسام المنفصلة ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨، ١٩، ٢٠، ٢١، ٢٢، ٢٣، ٢٤، ٢٥، ٢٦، ٢٧، ٢٨، ٢٩، ٣٠، ٣١، ٣٢، ٣٣، ٣٤، ٣٥، ٣٦، ٣٧، ٣٨، ٣٩، ٤٠، ٤١، ٤٢، ٤٣، ٤٤، ٤٥، ٤٦، ٤٧، ٤٨، ٤٩، ٥٠، ٥١، ٥٢، ٥٣، ٥٤، ٥٥، ٥٦، ٥٧، ٥٨، ٥٩، ٦٠، ٦١، ٦٢، ٦٣، ٦٤، ٦٥، ٦٦، ٦٧، ٦٨، ٦٩، ٧٠، ٧١، ٧٢، ٧٣، ٧٤، ٧٥، ٧٦، ٧٧، ٧٨، ٧٩، ٨٠، ٨١، ٨٢، ٨٣، ٨٤، ٨٥، ٨٦، ٨٧، ٨٨، ٨٩، ٩٠، ٩١، ٩٢، ٩٣، ٩٤، ٩٥، ٩٦، ٩٧، ٩٨، ٩٩، ١٠٠، ١٠١، ١٠٢، ١٠٣، ١٠٤، ١٠٥، ١٠٦، ١٠٧، ١٠٨، ١٠٩، ١١٠، ١١١، ١١٢، ١١٣، ١١٤، ١١٥، ١١٦، ١١٧، ١١٨، ١١٩، ١٢٠، ١٢١، ١٢٢، ١٢٣، ١٢٤، ١٢٥، ١٢٦، ١٢٧، ١٢٨، ١٢٩، ١٣٠، ١٣١، ١٣٢، ١٣٣، ١٣٤، ١٣٥، ١٣٦، ١٣٧، ١٣٨، ١٣٩، ١٤٠، ١٤١، ١٤٢، ١٤٣، ١٤٤، ١٤٥، ١٤٦، ١٤٧، ١٤٨، ١٤٩، ١٥٠، ١٥١، ١٥٢، ١٥٣، ١٥٤، ١٥٥، ١٥٦، ١٥٧، ١٥٨، ١٥٩، ١٦٠، ١٦١، ١٦٢، ١٦٣، ١٦٤، ١٦٥، ١٦٦، ١٦٧، ١٦٨، ١٦٩، ١٧٠، ١٧١، ١٧٢، ١٧٣، ١٧٤، ١٧٥، ١٧٦، ١٧٧، ١٧٨، ١٧٩، ١٨٠، ١٨١، ١٨٢، ١٨٣، ١٨٤، ١٨٥، ١٨٦، ١٨٧، ١٨٨، ١٨٩، ١٩٠، ١٩١، ١٩٢، ١٩٣، ١٩٤، ١٩٥، ١٩٦، ١٩٧، ١٩٨، ١٩٩، ٢٠٠، ٢٠١، ٢٠٢، ٢٠٣، ٢٠٤، ٢٠٥، ٢٠٦، ٢٠٧، ٢٠٨، ٢٠٩، ٢١٠، ٢١١، ٢١٢، ٢١٣، ٢١٤، ٢١٥، ٢١٦، ٢١٧، ٢١٨، ٢١٩، ٢٢٠، ٢٢١، ٢٢٢، ٢٢٣، ٢٢٤، ٢٢٥، ٢٢٦، ٢٢٧، ٢٢٨، ٢٢٩، ٢٣٠، ٢٣١، ٢٣٢، ٢٣٣، ٢٣٤، ٢٣٥، ٢٣٦، ٢٣٧، ٢٣٨، ٢٣٩، ٢٤٠، ٢٤١، ٢٤٢، ٢٤٣، ٢٤٤، ٢٤٥، ٢٤٦، ٢٤٧، ٢٤٨، ٢٤٩، ٢٥٠، ٢٥١، ٢٥٢، ٢٥٣، ٢٥٤، ٢٥٥، ٢٥٦، ٢٥٧، ٢٥٨، ٢٥٩، ٢٦٠، ٢٦١، ٢٦٢، ٢٦٣، ٢٦٤، ٢٦٥، ٢٦٦، ٢٦٧، ٢٦٨، ٢٦٩، ٢٧٠، ٢٧١، ٢٧٢، ٢٧٣، ٢٧٤، ٢٧٥، ٢٧٦، ٢٧٧، ٢٧٨، ٢٧٩، ٢٨٠، ٢٨١، ٢٨٢، ٢٨٣، ٢٨٤، ٢٨٥، ٢٨٦، ٢٨٧، ٢٨٨، ٢٨٩، ٢٩٠، ٢٩١، ٢٩٢، ٢٩٣، ٢٩٤، ٢٩٥، ٢٩٦، ٢٩٧، ٢٩٨، ٢٩٩، ٣٠٠، ٣٠١، ٣٠٢، ٣٠٣، ٣٠٤، ٣٠٥، ٣٠٦، ٣٠٧، ٣٠٨، ٣٠٩، ٣١٠، ٣١١، ٣١٢، ٣١٣، ٣١٤، ٣١٥، ٣١٦، ٣١٧، ٣١٨، ٣١٩، ٣٢٠، ٣٢١، ٣٢٢، ٣٢٣، ٣٢٤، ٣٢٥، ٣٢٦، ٣٢٧، ٣٢٨، ٣٢٩، ٣٣٠، ٣٣١، ٣٣٢، ٣٣٣، ٣٣٤، ٣٣٥، ٣٣٦، ٣٣٧، ٣٣٨، ٣٣٩، ٣٤٠، ٣٤١، ٣٤٢، ٣٤٣، ٣٤٤، ٣٤٥، ٣٤٦، ٣٤٧، ٣٤٨، ٣٤٩، ٣٥٠، ٣٥١، ٣٥٢، ٣٥٣، ٣٥٤، ٣٥٥، ٣٥٦، ٣٥٧، ٣٥٨، ٣٥٩، ٣٦٠، ٣٦١، ٣٦٢، ٣٦٣، ٣٦٤، ٣٦٥، ٣٦٦، ٣٦٧، ٣٦٨، ٣٦٩، ٣٧٠، ٣٧١، ٣٧٢، ٣٧٣، ٣٧٤، ٣٧٥، ٣٧٦، ٣٧٧، ٣٧٨، ٣٧٩، ٣٨٠، ٣٨١، ٣٨٢، ٣٨٣، ٣٨٤، ٣٨٥، ٣٨٦، ٣٨٧، ٣٨٨، ٣٨٩، ٣٩٠، ٣٩١، ٣٩٢، ٣٩٣، ٣٩٤، ٣٩٥، ٣٩٦، ٣٩٧، ٣٩٨، ٣٩٩، ٤٠٠، ٤٠١، ٤٠٢، ٤٠٣، ٤٠٤، ٤٠٥، ٤٠٦، ٤٠٧، ٤٠٨، ٤٠٩، ٤١٠، ٤١١، ٤١٢، ٤١٣، ٤١٤، ٤١٥، ٤١٦، ٤١٧، ٤١٨، ٤١٩، ٤٢٠، ٤٢١، ٤٢٢، ٤٢٣، ٤٢٤، ٤٢٥، ٤٢٦، ٤٢٧، ٤٢٨، ٤٢٩، ٤٣٠، ٤٣١، ٤٣٢، ٤٣٣، ٤٣٤، ٤٣٥، ٤٣٦، ٤٣٧، ٤٣٨، ٤٣٩، ٤٤٠، ٤٤١، ٤٤٢، ٤٤٣، ٤٤٤، ٤٤٥، ٤٤٦، ٤٤٧، ٤٤٨، ٤٤٩، ٤٥٠، ٤٥١، ٤٥٢، ٤٥٣، ٤٥٤، ٤٥٥، ٤٥٦، ٤٥٧، ٤٥٨، ٤٥٩، ٤٦٠، ٤٦١، ٤٦٢، ٤٦٣، ٤٦٤، ٤٦٥، ٤٦٦، ٤٦٧، ٤٦٨، ٤٦٩، ٤٧٠، ٤٧١، ٤٧٢، ٤٧٣، ٤٧٤، ٤٧٥، ٤٧٦، ٤٧٧، ٤٧٨، ٤٧٩، ٤٨٠، ٤٨١، ٤٨٢، ٤٨٣، ٤٨٤، ٤٨٥، ٤٨٦، ٤٨٧، ٤٨٨، ٤٨٩، ٤٩٠، ٤٩١، ٤٩٢، ٤٩٣، ٤٩٤، ٤٩٥، ٤٩٦، ٤٩٧، ٤٩٨، ٤٩٩، ٥٠٠، ٥٠١، ٥٠٢، ٥٠٣، ٥٠٤، ٥٠٥، ٥٠٦، ٥٠٧، ٥٠٨، ٥٠٩، ٥١٠، ٥١١، ٥١٢، ٥١٣، ٥١٤، ٥١٥، ٥١٦، ٥١٧، ٥١٨، ٥١٩، ٥٢٠، ٥٢١، ٥٢٢، ٥٢٣، ٥٢٤، ٥٢٥، ٥٢٦، ٥٢٧، ٥٢٨، ٥٢٩، ٥٣٠، ٥٣١، ٥٣٢، ٥٣٣، ٥٣٤، ٥٣٥، ٥٣٦، ٥٣٧، ٥٣٨، ٥٣٩، ٥٤٠، ٥٤١، ٥٤٢، ٥٤٣، ٥٤٤، ٥٤٥، ٥٤٦، ٥٤٧، ٥٤٨، ٥٤٩، ٥٥٠، ٥٥١، ٥٥٢، ٥٥٣، ٥٥٤، ٥٥٥، ٥٥٦، ٥٥٧، ٥٥٨، ٥٥٩، ٥٦٠، ٥٦١، ٥٦٢، ٥٦٣، ٥٦٤، ٥٦٥، ٥٦٦، ٥٦٧، ٥٦٨، ٥٦٩، ٥٧٠، ٥٧١، ٥٧٢، ٥٧٣، ٥٧٤، ٥٧٥، ٥٧٦، ٥٧٧، ٥٧٨، ٥٧٩، ٥٨٠، ٥٨١، ٥٨٢، ٥٨٣، ٥٨٤، ٥٨٥، ٥٨٦، ٥٨٧، ٥٨٨، ٥٨٩، ٥٩٠، ٥٩١، ٥٩٢، ٥٩٣، ٥٩٤، ٥٩٥، ٥٩٦، ٥٩٧، ٥٩٨، ٥٩٩، ٦٠٠، ٦٠١، ٦٠٢، ٦٠٣، ٦٠٤، ٦٠٥، ٦٠٦، ٦٠٧، ٦٠٨، ٦٠٩، ٦١٠، ٦١١، ٦١٢، ٦١٣، ٦١٤، ٦١٥، ٦١٦، ٦١٧، ٦١٨، ٦١٩، ٦٢٠، ٦٢١، ٦٢٢، ٦٢٣، ٦٢٤، ٦٢٥، ٦٢٦، ٦٢٧، ٦٢٨، ٦٢٩، ٦٣٠، ٦٣١، ٦٣٢، ٦٣٣، ٦٣٤، ٦٣٥، ٦٣٦، ٦٣٧، ٦٣٨، ٦٣٩، ٦٤٠، ٦٤١، ٦٤٢، ٦٤٣، ٦٤٤، ٦٤٥، ٦٤٦، ٦٤٧، ٦٤٨، ٦٤٩، ٦٥٠، ٦٥١، ٦٥٢، ٦٥٣، ٦٥٤، ٦٥٥، ٦٥٦، ٦٥٧، ٦٥٨، ٦٥٩، ٦٦٠، ٦٦١، ٦٦٢، ٦٦٣، ٦٦٤، ٦٦٥، ٦٦٦، ٦٦٧، ٦٦٨، ٦٦٩، ٦٧٠، ٦٧١، ٦٧٢، ٦٧٣، ٦٧٤، ٦٧٥، ٦٧٦، ٦٧٧، ٦٧٨، ٦٧٩، ٦٨٠، ٦٨١، ٦٨٢، ٦٨٣، ٦٨٤، ٦٨٥، ٦٨٦، ٦٨٧، ٦٨٨، ٦٨٩، ٦٩٠، ٦٩١، ٦٩٢، ٦٩٣، ٦٩٤، ٦٩٥، ٦٩٦، ٦٩٧، ٦٩٨، ٦٩٩، ٧٠٠، ٧٠١، ٧٠٢، ٧٠٣، ٧٠٤، ٧٠٥، ٧٠٦، ٧٠٧، ٧٠٨، ٧٠٩، ٧١٠، ٧١١، ٧١٢، ٧١٣، ٧١٤، ٧١٥، ٧١٦، ٧١٧، ٧١٨، ٧١٩، ٧٢٠، ٧٢١، ٧٢٢، ٧٢٣، ٧٢٤، ٧٢٥، ٧٢٦، ٧٢٧، ٧٢٨، ٧٢٩، ٧٣٠، ٧٣١، ٧٣٢، ٧٣٣، ٧٣٤، ٧٣٥، ٧٣٦، ٧٣٧، ٧٣٨، ٧٣٩، ٧٤٠، ٧٤١، ٧٤٢، ٧٤٣، ٧٤٤، ٧٤٥، ٧٤٦، ٧٤٧، ٧٤٨، ٧٤٩، ٧٥٠، ٧٥١، ٧٥٢، ٧٥٣، ٧٥٤، ٧٥٥، ٧٥٦، ٧٥٧، ٧٥٨، ٧٥٩، ٧٦٠، ٧٦١، ٧٦٢، ٧٦٣، ٧٦٤، ٧٦٥، ٧٦٦، ٧٦٧، ٧٦٨، ٧٦٩، ٧٧٠، ٧٧١، ٧٧٢، ٧٧٣، ٧٧٤، ٧٧٥، ٧٧٦، ٧٧٧، ٧٧٨، ٧٧٩، ٧٨٠، ٧٨١، ٧٨٢، ٧٨٣، ٧٨٤، ٧٨٥، ٧٨٦، ٧٨٧، ٧٨٨، ٧٨٩، ٧٩٠، ٧٩١، ٧٩٢، ٧٩٣، ٧٩٤، ٧٩٥، ٧٩٦، ٧٩٧، ٧٩٨، ٧٩٩، ٨٠٠، ٨٠١، ٨٠٢، ٨٠٣، ٨٠٤، ٨٠٥، ٨٠٦، ٨٠٧، ٨٠٨، ٨٠٩، ٨١٠، ٨١١، ٨١٢، ٨١٣، ٨١٤، ٨١٥، ٨١٦، ٨١٧، ٨١٨، ٨١٩، ٨٢٠، ٨٢١، ٨٢٢، ٨٢٣، ٨٢٤، ٨٢٥، ٨٢٦، ٨٢٧، ٨٢٨، ٨٢٩، ٨٣٠، ٨٣١، ٨٣٢، ٨٣٣، ٨٣٤، ٨٣٥، ٨٣٦، ٨٣٧، ٨٣٨، ٨٣٩، ٨٤٠، ٨٤١، ٨٤٢، ٨٤٣، ٨٤٤، ٨٤٥، ٨٤٦، ٨٤٧، ٨٤٨، ٨٤٩، ٨٥٠، ٨٥١، ٨٥٢، ٨٥٣، ٨٥٤، ٨٥٥، ٨٥٦، ٨٥٧، ٨٥٨، ٨٥٩، ٨٦٠، ٨٦١، ٨٦٢، ٨٦٣، ٨٦٤، ٨٦٥، ٨٦٦، ٨٦٧، ٨٦٨، ٨٦٩، ٨٧٠، ٨٧١، ٨٧٢، ٨٧٣، ٨٧٤، ٨٧٥، ٨٧٦، ٨٧٧، ٨٧٨، ٨٧٩، ٨٨٠، ٨٨١، ٨٨٢، ٨٨٣، ٨٨٤، ٨٨٥، ٨٨٦، ٨٨٧، ٨٨٨، ٨٨٩، ٨٩٠، ٨٩١، ٨٩٢، ٨٩٣، ٨٩٤، ٨٩٥، ٨٩٦، ٨٩٧، ٨٩٨، ٨٩٩، ٩٠٠، ٩٠١، ٩٠٢، ٩٠٣، ٩٠٤، ٩٠٥، ٩٠٦، ٩٠٧، ٩٠٨، ٩٠٩، ٩١٠، ٩١١، ٩١٢، ٩١٣، ٩١٤، ٩١٥، ٩١٦، ٩١٧، ٩١٨، ٩١٩، ٩٢٠، ٩٢١، ٩٢٢، ٩٢٣، ٩٢٤، ٩٢٥، ٩٢٦، ٩٢٧، ٩٢٨، ٩٢٩، ٩٣٠، ٩٣١، ٩٣٢، ٩٣٣، ٩٣٤، ٩٣٥، ٩٣٦، ٩٣٧، ٩٣٨، ٩٣٩، ٩٤٠، ٩٤١، ٩٤٢، ٩٤٣، ٩٤٤، ٩٤٥، ٩٤٦، ٩٤٧، ٩٤٨، ٩٤٩، ٩٥٠، ٩٥١، ٩٥٢، ٩٥٣، ٩٥٤، ٩٥٥، ٩٥٦، ٩٥٧، ٩٥٨، ٩٥٩، ٩٦٠، ٩٦١، ٩٦٢، ٩٦٣، ٩٦٤، ٩٦٥، ٩٦٦، ٩٦٧، ٩٦٨، ٩٦٩، ٩٧٠، ٩٧١، ٩٧٢، ٩٧٣، ٩٧٤، ٩٧٥، ٩٧٦، ٩٧٧، ٩٧٨، ٩٧٩، ٩٨٠، ٩٨١، ٩٨٢، ٩٨٣، ٩٨٤، ٩٨٥، ٩٨٦، ٩٨٧، ٩٨٨، ٩٨٩، ٩٩٠، ٩٩١، ٩٩٢، ٩٩٣، ٩٩٤، ٩٩٥، ٩٩٦، ٩٩٧، ٩٩٨، ٩٩٩، ١٠٠٠، ١٠٠١، ١٠٠٢، ١٠٠٣، ١٠٠٤، ١٠٠٥، ١٠٠٦، ١٠٠٧، ١٠٠٨، ١٠٠٩، ١٠١٠، ١٠١١، ١٠١٢، ١٠١٣، ١٠١٤، ١٠١٥، ١٠١٦، ١٠١٧، ١٠١٨، ١٠١٩، ١٠٢٠، ١٠٢١، ١٠٢٢، ١٠٢٣، ١٠٢٤، ١٠٢٥، ١٠٢٦، ١٠٢٧، ١٠٢٨، ١٠٢٩، ١٠٣٠، ١٠٣١، ١٠٣٢، ١٠٣٣، ١٠٣٤، ١٠٣٥، ١٠٣٦، ١٠٣٧، ١٠٣٨، ١٠٣٩، ١٠٤٠، ١٠٤١، ١٠٤٢، ١٠٤٣، ١٠٤٤، ١٠٤٥، ١٠٤٦، ١٠٤٧، ١٠٤٨، ١٠٤٩، ١٠٥٠، ١٠٥١، ١٠٥٢، ١٠٥٣، ١٠٥٤، ١٠٥٥، ١٠٥٦، ١٠٥٧، ١٠٥٨، ١٠٥٩، ١٠٦٠، ١٠٦١، ١٠٦٢، ١٠٦٣، ١٠٦٤، ١٠٦٥، ١٠٦٦، ١٠٦٧، ١٠٦٨، ١٠٦٩، ١٠٧٠، ١٠٧١، ١٠٧٢، ١٠٧٣، ١٠٧٤، ١٠٧٥، ١٠٧٦، ١٠٧٧، ١٠٧٨، ١٠٧٩، ١٠٨٠، ١٠٨١، ١٠٨٢، ١٠٨٣، ١٠٨٤، ١٠٨٥، ١٠٨٦، ١٠٨٧، ١٠٨٨، ١٠٨٩، ١٠٩٠، ١٠٩١، ١٠٩٢، ١٠٩٣، ١٠٩٤، ١٠٩٥، ١٠٩٦، ١٠٩٧، ١٠٩٨، ١٠٩٩، ١١٠٠، ١١٠١، ١١٠٢، ١١٠٣، ١١٠٤، ١١٠٥، ١١٠٦، ١١٠٧، ١١٠٨، ١١٠٩، ١١١٠، ١١١١، ١١١٢، ١١١٣، ١١١٤، ١١١٥، ١١١٦، ١١١٧، ١١١٨، ١١١٩، ١١٢٠، ١١٢١، ١١٢٢، ١١٢٣، ١١٢٤، ١١٢٥، ١١٢٦، ١١٢٧، ١١٢٨، ١١٢٩، ١١٣٠، ١١٣١، ١١٣٢، ١١٣٣، ١١٣٤، ١١٣٥، ١١٣٦، ١١٣٧، ١١٣٨، ١١٣٩، ١١٤٠، ١١٤١، ١١٤٢، ١١٤٣، ١١٤٤، ١١٤٥، ١١٤٦، ١١٤٧، ١١٤٨، ١١٤٩، ١١٥٠، ١١٥١، ١١٥٢، ١١٥٣، ١١٥٤، ١١٥٥، ١١٥٦، ١١٥٧، ١١٥٨، ١١٥٩، ١١٦٠، ١١٦١، ١١٦٢، ١١٦٣، ١١٦٤، ١١٦٥، ١١٦٦، ١١٦٧، ١١٦٨، ١١٦٩، ١١٧٠، ١١٧١، ١١٧٢، ١١٧٣، ١١٧٤، ١١٧٥، ١١٧٦، ١١٧٧، ١١٧٨، ١١٧٩، ١١٨٠، ١١٨١، ١١٨٢، ١١٨٣، ١١٨٤، ١١٨٥، ١١٨٦، ١١٨٧، ١١٨٨، ١١٨٩، ١١٩٠، ١١٩١، ١١٩٢، ١١٩٣، ١١٩٤، ١١٩٥، ١١٩٦، ١١٩٧، ١١٩٨، ١١٩٩، ١٢٠٠، ١٢٠١، ١٢٠٢، ١٢٠٣، ١٢٠٤، ١٢٠٥، ١٢٠٦، ١٢٠٧، ١٢٠٨، ١٢٠٩، ١٢١٠، ١٢١١، ١٢١٢، ١٢١٣، ١٢١٤، ١٢١٥، ١٢١٦، ١٢١٧، ١٢١٨، ١٢١٩، ١٢٢٠، ١٢٢١، ١٢٢٢، ١٢٢٣، ١٢٢٤، ١٢٢٥، ١٢٢٦، ١٢٢٧، ١٢٢٨، ١٢٢٩، ١٢٣٠، ١٢٣١، ١٢٣٢، ١٢٣٣، ١٢٣٤، ١٢٣٥، ١٢٣٦، ١٢٣٧، ١٢٣٨، ١٢٣٩، ١٢٤٠، ١٢٤١، ١٢٤٢، ١٢٤٣، ١٢٤٤، ١٢٤٥، ١٢٤٦، ١٢٤٧، ١٢٤٨، ١٢٤٩، ١٢٥٠، ١٢٥١، ١٢٥٢، ١٢٥٣، ١٢٥٤، ١٢٥٥، ١٢٥٦، ١٢٥٧، ١٢٥٨، ١٢٥٩، ١٢٦٠، ١٢٦١، ١٢٦٢، ١٢٦٣، ١٢٦٤، ١٢٦٥، ١٢٦٦، ١٢٦٧، ١٢٦٨، ١٢٦٩، ١٢٧٠، ١٢٧١، ١٢٧٢، ١٢٧٣، ١٢٧٤، ١٢٧٥، ١٢٧٦، ١٢٧٧، ١٢٧٨، ١٢٧٩، ١٢٨٠، ١٢٨١، ١٢٨٢، ١٢٨٣، ١٢٨٤، ١٢٨٥، ١٢٨٦، ١٢٨٧، ١٢٨٨، ١٢٨٩، ١٢٩٠، ١٢٩١، ١٢٩٢، ١٢٩٣، ١٢٩٤، ١٢٩٥، ١٢٩٦، ١٢٩٧، ١٢٩٨، ١٢٩٩، ١٣٠٠، ١٣٠١، ١٣٠٢، ١٣٠٣، ١٣٠٤، ١٣٠٥، ١٣٠٦، ١٣٠٧، ١٣٠٨، ١٣٠٩، ١٣١٠، ١٣١١، ١٣١٢، ١٣١٣، ١٣١٤، ١٣١٥، ١٣١٦، ١٣١٧، ١٣١٨، ١٣١٩، ١٣٢٠، ١٣٢١، ١٣٢٢، ١٣٢٣، ١٣٢٤، ١٣٢٥، ١٣٢٦، ١٣٢٧، ١٣٢٨، ١٣٢٩، ١٣٣٠، ١٣٣١، ١٣٣٢، ١٣٣٣، ١٣٣٤، ١٣٣٥، ١٣٣٦، ١٣٣٧، ١٣٣٨، ١٣٣٩، ١٣٤٠، ١٣٤١، ١٣٤٢، ١٣٤٣، ١٣٤٤، ١٣٤٥، ١٣٤٦، ١٣٤٧، ١٣٤٨، ١٣٤٩، ١٣٥٠، ١٣٥١، ١٣٥٢، ١٣٥٣، ١٣٥٤، ١٣٥٥، ١٣٥٦، ١٣٥٧، ١٣٥٨، ١٣٥٩، ١٣٦٠، ١٣٦١، ١٣٦٢، ١٣٦٣، ١٣٦٤، ١٣٦٥، ١٣٦٦، ١٣٦٧، ١٣٦٨، ١٣٦٩، ١٣٧٠، ١٣٧١، ١٣٧٢، ١٣٧٣، ١٣٧٤، ١٣٧٥، ١٣٧٦، ١٣٧٧، ١٣٧٨، ١٣٧٩، ١٣٨٠، ١

في هذه الحال تؤخذ عينة عشوائية وتدرس من حيث عدد العناصر التي تظهر في أقسام الخاصتين وتوضع التكرارات الناتجة بحيث تقترن التكرارات في أقسام الخاصة الأولى بالتكرارات في أقسام الخاصة الثانية فيما يسمى بمجدول الاقتران contingency table وهو عبارة عن مصفوفة ذات م صفاً تمثل أقسام الخاصة الأولى ، ه عموداً تمثل أقسام الخاصة الثانية ويوصف الجدول حيثذ بأنه جدول اقتران 2×5 . نضع الفرض الصفري أن الخاصتين مستقلتان ، وعلى أساس صحة هذا الفرض نحسب التكرارات النظرية المناظرة للتكرارات المشاهدة ونضعها في جدول اقتران 2×5 أيضاً . بمقارنة التكرارات المشاهدة بالتكرارات النظرية نستطيع الحكم على استقلال الخاصتين بواسطة الإحصاءة المعرفة في (١٣) .

مثال (٦ - ١٠) :

في تجربة عن الرجال في الأعمار بين ٦٠ ، ٦٤ عاماً صنف الرجال من حيث خاصتي التدخين والوفاة ، وقسمت خاصة التدخين إلى قسمين هما « يدخن ولا يدخن » وقسمت خاصة الوفاة إلى قسمين : رجال لا يزالون على قيد الحياة ورجال توفوا في بحر ٦ سنوات من بدء التجربة . في عينة من ١٤٦٩ رجلاً جمعت البيانات في جدول الاقتران 2×2 الآتي :

المجموع	عادة التدخين		الوفاة
	لا يدخن	يدخن	
١٧١	١١٧	٥٤	توفي
١٢٩٨	٩٥٠	٣٤٨	حي
١٤٦٩	١٠٦٧	٤٠٢	المجموع

هل هذه البيانات تشير إلى أن الوفاة مستقلة عن عادة التدخين ؟

الحل :

ف : الوفاة وعادة التدخين خاصتان مستقلتان ، أو لا توجد علاقة بين الخاصتين .

إذا كان هذا الفرض صحيحاً تكون نسبة المتوفين إلى الأحياء واحدة في المجتمع سواء للمدخنين أو لغير المدخنين . ونظراً لأن هذه النسبة غير معروفة نضطر إلى تقديرها من العينة ، ومن المعقول أن نأخذ النسبة التي ظهرت في العينة بين العدد الكلي للمتوفين والعدد الكلي للأحياء وهي ١٧١ : ١٢٩٨ . وباستخدام هذه النسبة نحصل على التكرارات النظرية في الخلايا الأربع وذلك بتقسيم كل من عدد الذين يدخنون وهو ٤٠٢ وعدد الذين لا يدخنون وهو ١٠٦٧ بهذه النسبة فمثلاً : التكرار النظري لعدد المتوفين من المدخنين $= \frac{171}{1298} \times 402 = 46,8$ رجلاً

التكرار النظري لعدد الأحياء من المدخنين $= \frac{1298}{1298} \times 402 = 355,2$ رجلاً

وبالمثل بالنسبة لغير المدخنين . وبذلك نحصل على جدول التكرارات النظرية الآتي :

المجموع	عادة التدخين		الوفاة
	لا يدخن	يدخن	
١٧١	١٢٤,٢	٤٦,٨	توفي
١٢٩٨	٩٤٢,٨	٣٥٥,٢	حي
١٤٦٩	١٠٦٧	٤٠٢	المجموع

$$1,73 = \frac{(942,8 - 900)^2}{942,8} + \dots + \dots + \frac{(46,8 - 54)^2}{46,8} = \chi^2$$

نحسب عدد درجات الحرية كالاتي . لدينا ٤ مقارنات ، وبما أن عدد المدخنين ثابت (وهو ٤٠٢) وكذلك عدد غير المدخنين (وهو ١٠٦٧) فإن درجات الحرية تنقص ٢ ، وبما أننا قدرنا دليل واحد للمجتمع من العينة وهو النسبة ١٧١ : ١٢٩٨ فإن درجات الحرية تنقص واحداً آخر .

$$\text{إذن } \nu = 1 - (2 - 4) = 1$$

$$\chi^2_{0.05, 1} = 3.841$$

بما أن $3.841 > 1.73$ لا نستطيع رفض الفرض الصفرى عند المستوى ٠.٠٥ ، ويمكننا القول بأنه في حدود مجموعة العمر التي درست ، عادة التدخين والممات مستقلتان ، أى أن التدخين لا يؤثر في الوفاة في حدود هذه التجربة .

مثال (٦ - ١١) :

جدول الاقتران 3×2 الآتي يحمل التكرارات المشاهدة في عينة عشوائية من ٩٩ طفلاً حديث الولادة من حيث طول الطفل وطول محيط رأسه بالسنتيمترات ساعة الولادة . ابحت استقلال طول المولود وطول محيط رأسه .

المجموع	طول المولود			محيط الرأس
	٥٥-٥٣	٥٢-٥٠	٤٩-٤٧	
٧٨	٢	٣٦	٤٠	٣٥-٣٢
٢١	٧	١٤	٠	٣٩-٣٦
٩٩	٩	٥٠	٤٠	المجموع

الحل :

كما في المثال السابق ، لو كان طول المولود ومحيط رأسه مستقلين لتوزعت أعداد الأطفال في كل من الأقسام الثلاثة للأطوال بنفس النسبة . ونقدر هذه النسبة من العينة على أنها ٧٨ : ٢١ أى ينبغي أن نقسم كلا من الأعداد ٤٠ ، ٥٠ ، ٩٠ بالنسبة ٧٨ : ٢١ لتحصل على جدول التكرارات النظرية الآتي :

المجموع	طول المولود			محيط الرأس
	٥٥-٥٣	٥٢-٥٠	٤٩-٤٧	
٧٨	٧,١	٣٩,٤	٣١,٥	٣٥-٣٢
٢١	١,٩	١٠,٦	٨,٥	٣٩-٣٦
٩٩	٩	٥٠	٤٠	المجموع

$$\chi^2 = \frac{(1,9-7)^2}{1,9} + \dots + \frac{(31,5-40)^2}{31,5} = 29,377$$

$$2 = 1 - (3-6) = \nu$$

$$0,991 = \chi^2_{(2),0.01}$$

نرفض الفرض الصفري عن استقلال طول المولود وطول محيط رأسه عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ونحكم بوجود علاقة بين هاتين الخاصتين .

ملاحظة (١)

(أ) إذا كانت هناك علاقة موجبة بين الخاصتين تظهر تكرارات كبيرة نسبياً في خلايا القطر الرئيسى أى في الخلايا العلوية اليمنى وفي الوسط وفي الخلايا السفلية اليسرى كما في هذا المثال .

(ب) وإذا كانت هناك علاقة سالبة تظهر تكرارات كبيرة نسبياً في الخلايا السفلية اليمنى وفي الوسط وفي الخلايا العلوية اليسرى .

(ج) أما إذا كان هناك علاقة صغيرة أو لا توجد علاقة فإن التكرارات تميل إلى أن تكون متناسبة الكثافة بمعنى أن يكون توزيع التكرارات بنفس النسبة التي تظهر في المجاميع الهامشية .

ملاحظة (٢) :

هناك قاعدة سهلة لإيجاد عدد درجات الحرية في أى جدول اقتران $m \times h$ حيث $m < 1$ ، $h < 1$ وهى :

$$v = (m - 1)(h - 1) \quad (١٦)$$

وتفسير هذه القاعدة أنه مادامت المجاميع الهامشية للأعمدة ثابتة فإننا في ملأ خانات جدول الاقتران يمكننا استنتاج واحد من الأعداد التي بأى عمود من الـ $h - 1$ الأعداد الأخرى التي بهذا العمود ، وبالمثل يمكن استنتاج واحد من الأعداد التي بأى صف من الـ $m - 1$ الأعداد الأخرى التي بهذا الصف . وبهذا نكون أحراراً فقط في ملأ $(m - 1)(h - 1)$ من خلايا الجدول .

ملاحظة (٣) :

هناك أيضاً قاعدة سهلة لحساب التكرار النظرى المناظر لتكرار مشاهد في أى خلية ، وذلك بضرب المجموعين الهامشين للصف والعمود الذى تقع فيه الخلية

ثم قسمة الناتج على المجموع الكلي للتكرارات (حجم العينة) ، فمثلا في المثال (٦ - ١١) الأخير :

$$\text{التكرار النظري المناظر للعدد ٣٦ هو } \frac{٥٠ \times ٧٨}{٩٩} = ٣٩,٤$$

$$\text{، التكرار النظري المناظر للعدد ٧ هو } \frac{٩ \times ٢١}{٩٩} = ١,٩$$

(٦ - ٧ - ٤) فترات الثقة لتباين مجتمع معتدل :

في البند (٦ - ٦ - ٢) أوجدنا صيغة لفترات الثقة للوسط الحسابي μ لمجتمع معتدل واستخدمنا لذلك توزيع ت . أما فترات الثقة لتباين مجتمع معتدل فتحتمل استخدام توزيع χ^2 ، إذ يمكن إثبات أنه على أساس عينة عشوائية حجمها n وتباينها σ^2 مأخوذة من مجتمع معتدل تباينه σ^2 فإن المتباينة :

$$(١٧) \quad \frac{\chi^2 (١ - \alpha)}{[١ - \alpha] \chi^2} < \sigma^2 < \frac{\chi^2 (١ - \alpha)}{[١ - \alpha] \chi^2}$$

تشكل فترة ثقة بدرجة $(١ - \alpha)$ لتباين المجتمع . وليس من الضروري هنا أن تكون العينة كبيرة الحجم كما هو الحال في التطبيقات سابقة الذكر لأن التوزيع الذي بنيت عليه هذه الفترة هو توزيع مضبوط طالما كان المجتمع معتدلا .

مثال (٦ - ١٢) :

أخذت عينة عشوائية حجمها ١٢ من مجتمع معتدل فوجد أن تباينها ٩,٧٣ . أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥% لتباين المجتمع .

الحل :

$$\text{لدينا } \alpha = 0,05 \quad \frac{\alpha}{4} = 0,0125 \quad 1 - \frac{\alpha}{4} = 0,9875 \quad n = 12$$

$$\text{من جدول } \chi^2 \text{ نجد أن } \chi^2_{\frac{\alpha}{4}, [1-n]} = \chi^2_{0,0125, 11} = 21,9$$

$$3,82 = \chi^2_{0,9875, 11} = \chi^2_{1-\frac{\alpha}{4}, [1-n]}$$

بالتعويض في (١٧) نجد أن :

$$\text{الحد الأدنى للفترة} = \frac{9,73 \times 11}{21,9} = 4,88$$

$$\text{الحد الأعلى للفترة} = \frac{9,73 \times 11}{3,82} = 28,018$$

إذن الفترة (٤,٨٨ ، ٢٨,٠١٨) هي فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لتباين المجتمع .

تمارين (٦ - ٢)

(في كل المسائل الآتية اذكر الشروط اللازم توفرها لصحة الحل .)

(١) حسب نظرية مندل عن تهجين النباتات تكون نسبة نبات البسلة الأخضر إلى نبات البسلة الأصفر ٣ : ١ . اختبر هذه النظرية على ضوء البيانات المشاهدة الآتية :

(أ) وجد في عينة عشوائية أن هناك ٣٥٥ نباتاً أخضر ، ١٢٣ نباتاً أصفر .
(ب) وجد في عينة عشوائية أن هناك ٤٢٨ نباتاً أخضر ، ١٥٢ نباتاً أصفر .

(٢) وضعت خمس مصائد فيران في أماكن مختلفة من غابة ما . في فترة ثلاثة أشهر سجلت أعداد الفيران المصيدة كالتالي :

المصيدة	أ	ب	ح	د	هـ
عدد الفيران	٢٣	٧	٢٥	١٩	٢١

اختبر الفرض أنه لا يوجد فرق بين المصايد الخمس في عدد ما تصطاده من الفيران .

(٣) اختبر الفرض أن عدد المواليد اليومية في مجتمع ما ثابت خلال شهور السنة مستخدماً البيانات الآتية :

الشهر : يناير فبراير مارس إبريل مايو يونيو يوليو أغسطس سبتمبر أكتوبر نوفمبر ديسمبر

عدد المواليد : ٨٠ ٧٨ ٨٦ ٨٢ ٨٣ ٧٨ ٧٩ ٧٦ ٧٨ ٧٦ ٧٢ ٧٦

(٤) لمعرفة ما إذا كان مجتمع ما يفضل نوعاً أ من سلعة ما (معجون أسنان مثلاً) على نوع آخر ب أجرى استفتاء على عينة من ٣٠٠ شخص فوجد أن ١٦٨ شخصاً منهم يفضلون النوع أ وأن ١٣٢ شخصاً يفضلون النوع ب . فهل هذه النتيجة تعني أن المجتمع يفضل النوع أ ؟

(٥) في ٣٦٠ رمية لزهرتين من الترد ظهر ما مجموعة سبعة ٧٤ مرة وظهر ما مجموعة إحدى عشر ٢٤ مرة . اختبر الفرض أن الزهرتين غير متحيزتين .

(٦) في المثال (٣ - ٩) عن توزيع خلايا الخميرة وفقنا توزيع بواسون لتوزيع تكرارى مشاهد في عينة . استخدم المستوى ٠,٠٥ لاختبار حسن المطابقة .

(٧) أخذ جوالان من حبوب الشعير لاختبار تأثير معالجة حرارية معينة على حيوية الحبوب وقد ترك الجوال أ دون معالجة (مجموعة مراقبة) وأعطيت المعالجة للجوال ب ثم أخذت عينة من ٨٠ حبة من كل جوال وفحصت بطريقة ما من حيث حيوية الحبوب فكانت النتيجة كما يلي :

لا يحتوى على
مقومات الحياة

يحتوى على
مقومات الحياة

الجوال أ : ٦٤ ١٦

الجوال ب : ٣٤ ٤٦

هل هناك فرق ذو دلالة بين الجوالين نتيجة للمعالجة الحرارية ؟ أى هل حيوية الحبوب مستقلة عن المعالجة الحرارية ؟

(٨) أخذت مجموعتان متكافئتان أ ، ب كل منهما تتكون من ١٠٠ شخص مريض بمرض معين وأعطى دواء للمجموعة الأولى ، ولم يعط للمجموعة الثانية (مجموعة المراقبة) فوجد أن عدد الذين شفوا من المجموعتين أ ، ب هما ٧٥ ، ٦٥ على الترتيب . أختبر الفرض أن هذا الدواء يساعد على الشفاء من المرض .

(٩) في عينة من خمس فراشات وجد أن تباين طول الجناح ١٣,٥٢ . إذا فرض أن مجتمع أجنحة هذه الفراشات معتدل (بالنسبة لطول الجناح) فأوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لتباين هذا المجتمع .

(١٠) في دراسة عن نوع من الضفادع وجد في عينة من ٣٩ ضفدعا أن متوسط فترة نداءات الذكور ١٨٩ وحدة بانحراف معيارى ٣٢ وحدة .

(أ) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لمتوسط فترة النداء في المجتمع .

(ب) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لتباين فترة النداء في المجتمع .

(١١) بمجدول الاقتران الآتى التوزيع المشترك للمجموعة من ٩٥٠ طالبا من حيث خاصتى الذكاء والتغذية . هل تشير هذه البيانات إلى أن ذكاء الطلاب مستقل عن التغذية ؟

نوع التغذية	نسبة الذكاء				المجموع
	أقل من ٨٠	٨٠-٨٩	٩٠-٩٩	١٠٠ فأكثر	
تغذية حسنة	٢٤٥	٢٢٨	١٧٧	٢١٩	٨٦٩
سوء تغذية	٣١	٢٧	١٣	١٠	٨١
المجموع	٢٧٦	٢٥٥	١٩٠	٢٢٩	٩٥٠

(٦ - ٧ - ٥) خاصة لـ توزيعات χ^2 المستقلة :

يمكن إثبات النظرية الآتية : « إذا كان لمتغير ما توزيع χ^2 بـ درجات حرية ν ، وكان لمتغير آخر مستقل عن المتغير الأول توزيع χ^2 بـ درجات حرية ν_1 ، فإن المتغير الذى ينشأ من ضم هذين المتغيرين معا يكون له توزيع χ^2 بـ درجات حرية $\nu + \nu_1$ » وتمتد هذه النظرية لأى عدد منتهى من المتغيرات المستقلة .

مثال (٦ - ١٣) :

فى دراسة عن تأثير التطعيم بمصل ما فى الوقاية من مرض ما أخذت مجموعتان متكافئتان من الأطفال طعمت إحداهما بالمصل ولم تطعم الأخرى . وبعد فترة محددة حسب عدد الذين أصيبوا والذين لم يصابوا بالمرض فى كلتا المجموعتين ووضعت النتائج فى جدول 2×2 ووجد أن $\chi^2 = 4,1$ بـ درجة حرية واحدة . كررت نفس الدراسة مرتين أخريتين بشكل مستقل (فى مكانين آخرين) ووجد أن قيمتى χ^2 هما $3,9$ ، $4,2$ بـ درجة حرية واحدة لكل منهما . نلاحظ ما يلى :

(أولا) إذا أخذنا كلا من هذه التجارب الثلاث على حدة نجد أن كلا منها يشير إلى فرق ذى دلالة بين المجموعة التى طعمت بالمصل والمجموعة الضابطة عند المستوى $0,05$ ، وذلك لأن القيمة الحرجة $\chi^2_{0,05,1} = 3,841$ وهذا يعنى أن المصل كان له تأثير فى الحماية من المرض .

(ثانيا) إذا ضمنا نتائج التجارب الثلاث معا ، وهذا جائز لأنها مستقلة ، نجد أن :

المجموع $4,1 + 3,9 + 4,2 = 12,2$ بـ درجات حرية عددها ثلاث ونظرا لأن القيمة الحرجة $\chi^2_{0,05,3} = 7,815$ فإن هذه النتيجة تدعم كلا من النتائج الثلاث السابقة وتؤكد أن الفروق بين أزواج المجموعات لم تكن بالصدفة .

إن الأهمية الرئيسية لهذا الاختبار هو قدرته على اختبار تساوى تبايني مجتمعين معتدلين σ_1^2 ، σ_2^2 عن طريق تبايني عينتين عشوائيتين مستقلتين ϵ_1^2 ، ϵ_2^2 مأخوذتين منهما . وقد رأينا أن اختبارات عن دلالة الفرق بين متوسطي عينتين بالصورة الميئة بالبند (٦ - ٦ - ٣) يستلزم التأكد من تساوى تبايني المجتمعين ، ولذا ينبغي إجراء اختبار ف بشكل روتيني قبل تطبيق هذا الاختبار . ومن التطبيقات الهامة التي يستخدم فيها اختبار ف ذلك التطبيق المسمى بتحليل التباين الذي سنتناوله في الفصل الثامن حيث نحتاج أيضاً إلى اختبار تساوى تباينات المجتمعات .

وينبغي هذا الاختبار على الإحصاءة :

$$(١٨) \quad \frac{\epsilon_1^2}{\epsilon_2^2} = \nu_1$$

التي تسمى بنسبة التباين variance ratio والتي يتطابق توزيعها مع توزيع المتغير ف السابق دراسته بدرجة حرة $\nu_1 = 1 - \nu_2$ ، $\nu_2 = 1 - \nu_1$ تحت الافتراضات الآتية :

- (أ) أن تكون كل من العينتين عشوائية بسيطة .
- (ب) أن تكون العينتان مستقلتين .
- (جـ) أن تكون العينتان مأخوذتين من مجتمع معتدل واحد أو من مجتمعين معتدلين لهما نفس التباين .

ملاحظة :

لاستخدام جدول ف للقيم الحرجة يجب أن توضع نسبة التباين بحيث تكون

أكبر من الواحد أى بحيث تكون $\epsilon_1 < \epsilon_2$ مع ملاحظة أن ν تحدد العمود ،
 ν تحدد الصف .

مثال (٦ - ١٤) :

أخذت عيتان عشوائيتان حجمهما ٥ ، ٦ من الإناث والذكور من حشرة
 ما وحسبت مدة البقاء على الحياة لكل حشرة بعد حرمانها من الطعام والشراب
 فوجد أن تباين الأولى ٢٥,٧ وتباين الثانية ٠,٧,٠٦ على أساس أن المجتمعين
 معتدلين :

(أولاً) اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠١ أن تباين مجتمع الإناث أكبر من تباين
 مجتمع الذكور .
 (ثانياً) اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ أن المجتمعين متساويا التباين .

الحل :

$$F = \frac{25,7}{0,706} = 3,64 \text{ بدرجة حرية } 4, 5$$

(أولاً) الفرض الصفري $F: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

الفرض البديل $F: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$ (اختبار ذو جانب واحد)

من الجدول (٩) : $F_{0,01} = 11,4$

بما أن $3,64 < 11,4$ لا نستطيع رفض F عند المستوى ٠,٠١

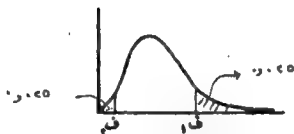
(ثانياً) الفرض الصفري $F: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

الفرض الآخر $F: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (اختبار ذو جانبيين مساحة كل منهما

(٠,٠٢٥

نريد إيجاد F_1 ، F_2 حيث $L(F < F_1) = 0,025$ ،
 $L(F < F_2) = 0,975$ مع ملاحظة أن الاحتمال $0,975$ لا يوجد
 بالجدول .

$$\begin{aligned} 7,39 &= \text{من الجدول } F_{0,025} [4, 10] \\ 7,39 &= \text{إذن القيمة الحرجة اليمنى } F_1 \\ 0,975 &= \text{التساوية لـ } (F < F_2) \text{ تكافئ} \\ 0,025 &= \text{التساوية لـ } \left(\frac{1}{F_2} < \frac{1}{F_1} \right) \end{aligned}$$



الشكل (٤-٦)

من الجدول $F_{0,025} [4, 10] = 9,36$ راجع ملاحظة البند (٥-٣)

$$\therefore \frac{1}{F_2} = 9,36$$

\therefore القيمة الحرجة اليسرى $F_2 = 1 \div 9,36 = 0,107$.
 بما أن $0,107 < 3,64 < 73,9$ لا نستطيع رفض F_0 عند المستوى $0,05$.
 أى أننا نقبل أن $\sigma_1 = \sigma_2$ عند هذا المستوى .

(٦ - ٩) فترات الثقة للنسبة في مجتمع :

نفرض أن نسبة وقوع حدث أ في مجتمع ما هو عدد مجهول ح ، فمثلا قد تعبر ح عن نسبة ظهور زهور حمراء من نوع من البنور ، أو نسبة الإصابة بمرض ما في نوع من الماشية ، أو نسبة النيكوتين في نوع من السجائر . يمكننا تقدير النسبة ح من واقع عينة عشوائية كبيرة وذلك بأخذ النسبة المشاهدة ر بين عدد مرات وقوع الحدث أ وعدد وحدات العينة ، وتزداد ثقتنا في التقدير ر كلما زاد حجم العينة . وإذا أردنا إيجاد صيغة لفترات الثقة للنسبة ح فإننا نستخدم التقدير ر كأساس لبناء هذه الصيغة وبحسب المنطق الآتي :

نعلم من البند (٣ - ٣) أنه تحت شروط عشوائية العينة وثبات النسبة ح واستقلال الأحداث يكون للمتغير العشوائي \bar{r} الذي يعبر عن عدد مرات وقوع الحدث أ في العينات ذوات الحجم ن توزيع ذي الحدين دليلا ه ، ح وسطه الحسابي ه ح وتباينه ه ح ك حيث ك = ١ - ح . ونعلم من البند (٦ - ٤) أنه إذا كان المتغير العشوائي ر $\approx \bar{r}$ يعبر عن النسبة المشاهدة في العينة فإن توزيع الإحصاءة :

$$\frac{\bar{r} - h}{\sqrt{\frac{h(1-h)}{n}}} \approx \bar{r}$$

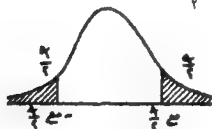
يقترّب من التوزيع المعتدل المعياري بشرط أن تكون ن كبيرة وألا تكون ح أو ك قريبة من الصفر .

في هذه الحالة يمكن إثبات أن الفترة :

$$(19) \quad \left(\bar{r} - \sqrt{\frac{h(1-h)}{n}}, \bar{r} + \sqrt{\frac{h(1-h)}{n}} \right) \text{ مع } \alpha$$

هى فترة ثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ للنسبة ح .
 حيث مع $\frac{\alpha}{2}$ هى القيمة الحرجة في التوزيع المعتدل المعيارى التي تحقق المعادلة

$$L \left(\frac{\alpha}{2} \right) < \bar{c} - \frac{\alpha}{2} = 1 - \alpha \quad (20)$$



الشكل (٦ - ٥)

فمثلا حين $\alpha = 0.05$ فإن مع $\frac{\alpha}{2} = 0.025$ راجع المثال (٤ - ٣).
 وحين $\alpha = 0.01$ فإن مع $\frac{\alpha}{2} = 0.005$ راجع المثال (٤ - ٣).
 ويلاحظ أن أى عدد يقع في هذه الفترة يصلح لأن يؤخذ كتقدير للنسبة ح .

مثال (٦ - ١٥) :

أخذت عينة عشوائية حجمها ٤٠٠ شخص من مجتمع ما ووجد أن ٢٣ منهم مصابون بمرض البول السكرى . أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لنسبة المصابين بهذا المرض في هذا المجتمع .

الحل :

$$r = \frac{23}{400} = 0.0575 \quad \text{نسبة الإصابة في العينة}$$

نأخذ هذه النسبة كتقدير للنسبة ح مع ملاحظة عشوائية العينة وكبر حجمها .

$$\text{تقدير الخطأ المعياري} = \sqrt{\frac{(r-1)r}{n}} = \sqrt{\frac{0.9425 \times 0.0575}{400}} = 0.0116$$

من (١٩) وبأخذ $\alpha = ٠,٠٥$ نجد أن

$$\text{الحد الأدنى للفترة} = ٠,٠٥٧٥ - ٠,٠١١٦ \times ١,٩٦ = ٠,٠٣٥$$

$$\text{الحد الأعلى للفترة} = ٠,٠٥٧٥ + ٠,٠١١٦ \times ١,٩٦ = ٠,٠٨٠٢$$

إذن الفترة (٠,٠٣٥ ، ٠,٠٨٠) هي فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لنسبة المصابين بالبول السكري في المجتمع .

(٦ - ٩ - ١) اختبار دلالة الفرق بين نسبي عيتين مستقلتين :

نفرض أن لدينا مجتمعين نسبة وقوع حدث ما في أحدهما $ح_١$ ونسبة وقوعه في الآخر $ح_٢$. ونفرض أننا حصلنا على عيتين عشوائيتين مستقلتين من هذين المجتمعين ووجدنا أن نسبي وقوع الحدث فيهما $ر_١$ ، $ر_٢$ على الترتيب . يمكن إثبات أن توزيع المعاينة للإحصاءة .

$$(٢١) \quad \frac{(\bar{r}_1 - \bar{r}_2) - (ح_1 - ح_2)}{\sqrt{\frac{ح_1(١-ح_1)}{٢٠} + \frac{ح_2(١-ح_2)}{١٠}}} = \bar{z}$$

يقترّب من التوزيع المعتدل المعيارى كلما كبرت كل من $ن_١$ ، $ن_٢$ ولم تكن أى من $ح_١$ ، $ح_٢$ ، $ك_٢$ قريبة من الصفر .
وإذا فرضنا أن $ح_١ = ح_٢ = ح$ ، $ك = ١ - ح$ فإن هذه الإحصاءة تكتب .

$$(٢١) \quad \frac{\bar{r}_1 - \bar{r}_2}{\sqrt{ح(١-ح) \left(\frac{١}{٢٠} + \frac{١}{١٠} \right)}} = \bar{z}$$

وفى هذه الحالة تقدر $ح$ من العيتين كالآتي :

$$ح = \frac{٢٠ \bar{r}_1 + ١٠ \bar{r}_2}{٢٠ + ١٠}$$

وعلى ذلك يمكن استخدام الإحصاءة (٢١) للكشف عما إذا كان الفرق المشاهد بين μ_1 ، μ_2 في العيتين هو فرق صغير لا دلالة له أم فرق يدل على وجود فرق حقيقي بين النسبتين H_0 ، H_1 في المجتمعين .

مثال (٦ - ١٦) :

لمعرفة تأثير طعم ما في الوقاية من وباء الكوليرا اختبرت عيتان عشوائيتان حجم الأولى ١٠٠٠ شخص وحجم الثانية ١٥٠٠ شخص وحقت أفراد المجموعة الأولى بالطعم ولم يحقن أفراد المجموعة الثانية (مجموعة مراقبة) . وبعد فترة من الزمن ظهرت ١٠٠ حالة مرضية في المجموعة الأولى و ٥٠٠ حالة في المجموعة الثانية . اختبر ما إذا كان لهذا الطعم أثر في الوقاية من هذا المرض مستخدماً مستوى الدلالة ٠,٠١

الحل :

الفرض الصفري F_0 : $H_0 = H_1$ (لا يوجد تأثير للطعم المعطى)
الفرض الآخر F_1 : $H_0 > H_1$ (اختبار ذو جانب واحد) .

$$\text{نسبة الإصابة في المجموعة الأولى } \mu_1 = \frac{100}{1000} = 0,10$$

$$\text{نسبة الإصابة في المجموعة الثانية } \mu_2 = \frac{500}{1500} = 0,33$$

$$\text{من (٢١) : تقدير } H = \frac{1500 \times 0,33 + 1000 \times 0,1}{1500 + 1000} = 0,238$$

$$\text{تقدير الخطأ المعياري} = \sqrt{H \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} = \sqrt{0,238 \times \left(\frac{1}{1000} + \frac{1}{1500} \right)} = 0,017$$

$$\text{من (٢١) : صغى} = \frac{0,33 - 0,10}{0,017} = 13,52$$

بما أن $13,52 - > 2,33$ نرفض الفرض الصفري عند المستوى ٠,٠١ ونستنتج أن للطعم تأثير في الوقاية من المرض .

(٦ - ٩ - ٢) فترات الثقة للفرق بين نسبتي مجتمعين :

يمكن إثبات أنه تحت الشروط سابقة الذكر تكون الفترة :

$$(22) \quad \left\{ \frac{(p_1 - p_2) \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \right\}$$

حيث $z_{\alpha/2}$ = $\sqrt{\chi^2_{\alpha/2, df}}$

هي فترة ثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ للفرق $p_1 - p_2$ بين نسبتي المجتمعين . ففي المثال (٦ - ١٥) الأخير نجد أن :

$$\text{الحد الأدنى للفترة} = 2,58 \times 0,017 - (0,1 - 0,33) = 0,186$$

$$\text{الحد الأعلى للفترة} = 2,58 \times 0,017 + (0,1 - 0,33) = 0,274$$

أي أن الفترة (٠,١٨٦ ، ٠,٢٧٤) هي فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ للفرق بين النسبتين في المجتمعين .

تمارين (٦ - ٣)

(١) في عينة عشوائية من ٤٠٠ شخص حققوا بمصل ما تأثر ١٣٦ تأثيراً ضاراً . أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لنسبة الأشخاص الذين يتأثرون تأثيراً ضاراً من هذا المصل .

(٢) من ١٠٠ سمكة صيدت من بحيرة ما وجد أن ١٦ منها لا تصلح للأكل نتيجة لتلوث كيميائي في بيئة هذه البحيرة . أنشئ فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لاحتمال أنه إذا صيدت سمكة من هذه البحيرة تكون غير صالحة للأكل .

(٣) في تجربة عن تمهجين فيران ذوات الشعر النحيف المتهدل وفيران ذوات الشعر لجعد وجد في ٣٢ ولادة بكل منها ٨ فيران أن عدد الولادات التي تحتوى بالضبط على س فأراً ذا شعر نحيف ومتهدل كالآتي :

٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١	٠	:	س
٠	٢	٥	٦	١٢	٤	٢	١	٠	:	عدد الولادات

على فرض أن توزيع ذى الحدين يصلح نموذجاً في هذه التجربة أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ لاحتمال الحدث « ولادة فأر ذى شعر نحيف ومتهدل » - راجع البند (٣ - ٣ - ١) .

(٤) أخذت مجموعتان عشوائيتان بكل منهما ٨٠ مريضاً . أعطى للمجموعة الأولى أقراص تحتوى على دواء ضد الحساسية وأعطى للمجموعة الثانية أقراص تمويه (لا تحتوى على أى دواء) ، فظهرت أعراض الحساسية في ٢٣ من المجموعة الأولى ، ٥١ من المجموعة الثانية . اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ما إذا كانت نسبة ظهور الحساسية في المرضى الذين يتلقون أقراص الحساسية لا تختلف عنها في المرضى الذين يتلقون أقراص التمويه .

(٥) في عينة عشوائية من ٢٠٠ شخص لا يتناولون طعام الإفطار أفاد ٨٢ منهم أنهم يشعرون بتعب منتصف الصباح . وفي عينة عشوائية من ٤٠٠ شخص يتناولون طعام الإفطار أفاد ١١٦ منهم أنهم يشعرون بتعب منتصف الصباح . استخدم مستوى الدلالة ٠,٠١ لاختبار الفرض الصفري أنه لا يوجد فرق بين المجتمعين ضد الفرض الآخر أن تعب منتصف الصباح أكثر تفشيًا بين الأشخاص الذين لا يتناولون طعام الإفطار .

(٦ - ١٠) تحديد حجم العينة :

من الأمور التي تشغل الباحث عند تصميم تجربة لحل مشكلة ما تحديد عدد

وحدات العينة (العشوائية) اللازم لضمان أن تكون أحكامه عن المجتمع الذى يدرسه على درجة كافية من العمومية والدقة . وبطبيعة الحال كلما كانت العينة كبيرة كلما زادت الثقة في هذه الأحكام ، غير أن كبر حجم العينة يحتاج إلى الكثير من الجهد والوقت والتكاليف ، سواء في عملية المعاينة أو في قياس وتحليل البيانات ولذلك فإن كفاءة التصميم تتطلب إيجاد حد أعلى معقول لحجم العينة . وسنبحث هذا الموضوع في الحالات الثلاث الآتية .

(أولا) عند تقدير الوسط الحسابى لمجتمع :

· نفرض أننا نتساءل عن حجم العينة المناسب لتقدير متوسط المجتمع μ من المتوسط \bar{x} لعينة عشوائية مأخوذة منه . إن الإجابة عن هذا السؤال لا تتأق إلا إذا أجبنا عن السؤال العملى الآتى : « ما مقدار الخطأ الذى يمكن السماح به عند تقدير μ عن طريق \bar{x} ؟ أى ما هو الحد الأعلى الذى يمكن التجاوز عنه لانحراف \bar{x} عن القيمة الحقيقية μ ؟ » وهذا السؤال لا يجاب عنه إحصائيا وإنما هو من اختصاص الباحث التطبيقى وهو الذى يجيب عنه من واقع خبرته بميدان البحث . فإذا رأى الباحث أن الحد الأعلى للخطأ المسموح به هو عدد ما خ ، ورأى فى الوقت نفسه أن يعين درجة ثقة (٩٥ ٪ مثلا) فى عدم تخطى هذا الحد عند التطبيق ، فإن الحجم المناسب للعينة الذى يحقق الفرض المنشود ينتج حسب الأساس الآتى :

من البند (٦ - ٣) نعلم أنه إذا كان لدينا مجتمع معتدل وسطه الحسابى μ وانحرافه المعيارى σ فإن الإحصاءة \bar{x} للعينات ذوات الحجم n يكون لها توزيع معتدل وسطه الحسابى μ وانحرافه المعيارى $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ وتحقق هذه النظرية أيضا (بالتقريب) حين لا يكون المجتمع معتدلا بشرط أن يكون حجم العينة كبيرا ($n \geq 30$) .

وإذا كانت \bar{x} هي الوسط الحسابي لعينة عشوائية ما فإن الفترة :

$$(\bar{x} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ مع } \frac{\alpha}{2}, \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ مع } \frac{\alpha}{2})$$

تكون فترة ثقة بدرجة $1 - \alpha$ للمتوسط μ للمجتمع ، حيث مع $\frac{\alpha}{2}$ هي قيمة المتغير المعتدل المعياري التي تحقق المعادلة :

$$n \text{ (مع } \frac{\alpha}{2} < z < \text{مع } \frac{\alpha}{2}) = 1 - \alpha$$

وبذلك تكون أكبر قيمة للانحراف $|\mu - \bar{x}|$ هي $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ مع } \frac{\alpha}{2}$ ويسمى هذا العدد بمد الخطأ error bound ، بدرجة ثقة $1 - \alpha$

وإذا اخترنا أن يكون الخطأ المسموح به هو مقدار معين x وأردنا أن نكون على ثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ بألا يتعدى الخطأ الذي تقع فيه القيمة x فإن حجم

العينة المطلوب يجب أن يحقق المعادلة $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ مع } \frac{\alpha}{2} = x$. وبحل هذه المعادلة في n نجد أن :

$$(23) \quad n = \left(\frac{\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ مع } \frac{\alpha}{2}}{x} \right)^2$$

وهذه هي القيمة المطلوبة لحجم العينة n الذي يكفي لتحقيق الغرض المطلوب . كما يمكن أن نأخذ العدد n حيث

$$(24) \quad \frac{\sigma}{\sqrt{x\alpha}} = n$$

كحد أعلى لحجم العينة . وتنتج هذه المعادلة من متباينة تشبيشف الشهيرة التي لا تتطلب توزيعاً أو شروطاً معينة ، إلا أنها غالباً ما تعطى قيمة أكبر مما ينبغي لحجم العينة .

ويلاحظ أن إيجاد قيمة n من أى من المعادلتين (٢٣) أو (٢٤) يتطلب معرفة ولو تقريبية بالانحراف المعياري σ للمجتمع . وحين تكون قيمة σ مجهولة تماماً فلا مفر من تقديرها من عينة عشوائية استطلاعية كبيرة لا يقل حجمها عن ٣٠ .

مثال (٦ - ١٧) :

في عينة عشوائية حجمها ٣٦ وجد أن الوسط الحسابي والانحراف المعياري هما ٢,٦ و ٠,٣ على الترتيب . ما حجم العينة اللازم لإعطائنا ثقة بدرجة ٩٥٪ بألا يزيد الخطأ في تقدير الوسط الحسابي μ للمجتمع عن ٠,٠٦ ؟

الحل :

لدينا $\alpha = ٠,٠٦$ ، $\alpha - ١ = ٠,٩٥$ ومنها $\alpha = ٠,٠٥$ ،

$$مع \frac{\alpha}{2} = ١,٩٦$$

نأخذ الانحراف المعياري ٠,٣ الناتج من العينة الاستطلاعية كتقدير للانحراف المعياري للمجتمع . ثم نحسب n من الصيغة (٢٣) كالآتي :

$$n = \left(\frac{1,96 \times 0,3}{0,06} \right)^2 = ٩٦,٠٤$$

إذن الحجم المطلوب للعينة هو ٩٧ أى أنه يكفي أن نوجد الوسط الحسابي \bar{x} لعينة عشوائية من هذا الحجم لكي نكون واثقين بدرجة ٩٥٪ أن اختلاف \bar{x} عن μ لا يزيد عن ٠,٠٦ .

نلاحظ أنه بأخذ $n = 97$ فإن $\frac{E}{\sqrt{n}} = 1,96 \times \frac{0,0097}{\sqrt{97}} = 0,0097$ وهذا أصغر من $0,06$.

(ثانيا) عند تقدير الفرق بين متوسطي مجتمعين معتمدين :

بنفس الطريقة يمكن إيجاد حد أعلى لحجم العينة اللازم لتقدير الفرق $\mu_1 - \mu_2$ بين متوسطي مجتمعين معتمدين بحيث نكون على ثقة بدرجة $1 - \alpha$ بألا يزيد المقدار $\bar{S}_1 - \bar{S}_2$ المشاهد في عيتين عن المقدار $\mu_1 - \mu_2$ للمجتمعين ، عن قيمة معينة E مفروضة مسبقا ، وما علينا إلا استخدام الخطأ المعياري

لتوزيع المعاينة للإحصاء $\bar{S}_1 - \bar{S}_2$ وهو $\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ بدلا من

الخطأ المعياري $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ لتوزيع المعاينة للإحصاء \bar{S} . وإذا كانت العيتان متساويتى

الحجم : $n_1 = n_2 = n$ وكان المجتمعان متساويين في التباين : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$

فإن ذلك الخطأ المعياري يأخذ الصورة $\frac{\sqrt{2}\sigma}{\sqrt{n}}$ ويكون الحد الأعلى المطلوب لحجم

$$\text{كل من العيتين هو} \quad \left(\frac{\sqrt{2}\sigma}{E} \right) = n \quad (25)$$

ويلاحظ أن هذه الصيغة ضعف الصيغة (23) .

مثال (٦ - ١٨) :

في تجربة تهدف إلى اختبار دواء تخسيس وتحكم في زيادة الوزن عند النساء رؤى البدء باستخدام الدواء على إناث القطط المنزلية ، فاختيرت عينة عشوائية من

٦٠ قطعة قسمت عشوائياً إلى مجموعتين متكافئتين في الوزن بكل منهما ٣٠ قطعة ، مجموعة تجريبية وأخرى ضابطة ، أعطى الدواء إلى المجموعة التجريبية فقط ووضعت المجموعتان تحت نفس الظروف . وبعد ٦ أسابيع وباستخدام وحدة قياس معينة وجد أن متوسط النقص في وزن المجموعة التجريبية ١٠ وحدات ومتوسط النقص في وزن المجموعة الضابطة ١٣,٣ وحدة . على فرض أن تباين كل من المجموعتين ٤٠ أوجد حداً أعلى لحجم كل من العنتين الذي يعطينا ثقة بدرجة ٩٥٪ ألا يزيد الفرق المشاهد في متوسطي العنتين عن الفرق الحقيقي بين متوسطي المجموعتين عن ٣ وحدات .

الحل :

$$\text{لدينا } \sigma^2 = 40, \quad \alpha = 0.05, \quad \text{وإذن } \mu = 1.96$$

$$\text{من الصيغة (٢٥) : } n = \frac{40 \times 2}{9} = 8.89 \approx 9$$

(ثالثاً) عند تقدير نسبة وقوع حدث في مجتمع :

نفرض أن نسبة وقوع حدث معين في مجتمع هو مقدار ثابت مجهول π ونفرض أننا نرغب في معرفة حجم العينة المناسب لتقدير هذه النسبة عن طريق النسبة $\hat{\pi}$ التي تظهر في عينة عشوائية ، بحيث نكون على ثقة بدرجة $1 - \alpha$ ألا يزيد الخطأ الناشئ عن هذا التقدير عن مقدار معين ϵ .

من البند (٦ - ٤) نعلم أنه إذا كان حجم العينة كبيراً ($n \geq 30$) فإن توزيع المعاينة للنسبة $\hat{\pi}$ لوقوع هذا الحدث في العينات ذوات الحجم n يقترب من توزيع معتدل وسطه الحسابي π وانحرافه المعياري $\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}$ حيث $\pi = 1 - \alpha$. في

هذه الحالة يكون حد الخطأ أى أكبر قيمة للمقدار $|\hat{\pi} - \pi|$ هو $\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}$ مع

يلاحظ أن هذا الحد هو نفس الحد الذى وجدناه في (أولا) بوضع $\sqrt{\frac{C}{n}}$ بدلا من $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

$$\text{بحل المعادلة } \sqrt{\frac{C}{n}} = \frac{C}{4} \text{ نحصل على}$$

$$(26) \quad C = n \left(\frac{C}{4} \right)^2$$

وهذه هي القيمة المطلوبة لحجم العينة . غير أن هذا الحل غير قابل للاستخدام لأنه يشتمل على البارامتر C وهو الذى نبحث عن تقديره . ولكن نظراً لأن أكبر قيمة لحاصل الضرب C هي $\frac{1}{4}$ أى أن $C \leq \frac{1}{4}$ دائماً ،

$$[\text{لأن } C \leq \frac{1}{4} = 1 - (1 - C) = 1 - (1 - C)^2 = 1 - (1 - C)^2 - (1 - C)^2 + (1 - C)^2 = 1 - (1 - C)^2]$$

فإن الصيغة (26) يمكن أن تكتب كالآتي :

$$(27) \quad C = n \left(\frac{C}{4} \right)^2$$

واختيار الحد الأقصى لحجم العينة من هذه المعادلة يؤدي الغرض المنشود بغير أى معرفة مسبقة لقيمة البارامتر C .

أما إذا كان لدينا معلومات تفيد بأن هذا البارامتر يساوى بالتقريب قيمة معينة C مثلاً فإن ن يمكن إيجادها من المعادلة .

$$(28) \quad C = n \left(\frac{C}{4} \right)^2$$

وهذه القيمة تقل عن تلك التي تعطيها الصيغة (27) لأنها مبنية على معلومات عن القيمة المحتملة للدليل C .

مثال (٦ - ١٩) :

في عملية مسح صحى عن طريق العينة ، يراد تقدير النسبة ح للأشخاص ضعاف البصر . كم شخصاً ينبغي اختبارهم إذا كان المسئولون يريدون أن يتأكدوا بدرجة ٩٨٪ أن الخطأ في التقدير يقع في المدى $\pm ٠,٠٥$.

(أ) في حالة عدم وجود أى معرفة لقيمة ح

(ب) إذا كان المعروف أن ح = ٠,٣ بالتقريب ؟

الحل :

لدينا $\pm ٠,٠٥ = \alpha - ١$ ، $٠,٩٨ = \alpha$ إذن $\alpha = ٠,٠٢$ ، $\frac{\alpha}{٢} = ٠,٠١$ القيمة هى قيمة المتغير المعتدل المعيارى أ التى تحقق المعادلة

$$ل (أ) (٤ < \epsilon < ١) = ٠,٩٨$$

$$ل (أ) (٤ < \epsilon < ١) = ٠,٩٨ \div ٢ = ٠,٤٩$$

من جدول المساحات أسفل المنحني المعتدل نجد أن $٢,٣٣ = أ$

$$(أ) من (٢٧) : \frac{١}{٤} = \frac{٢,٣٣}{٠,٠٥} = ٥٤٢,٨٩$$

إذن الحجم المطلوب للعينة هو ٥٤٣ .

$$(ب) من (٢٨) : \frac{١}{٤} = ٠,٧ \times ٠,٣ = \frac{٢,٣٣}{٠,٠٥} = ٤٥٦,٠٢٧٦$$

إذن الحجم المطلوب للعينة هو ٤٥٦ .

تمارين (٦ - ٤)

(١) يريد باحث تقدير متوسط محتوى الفسفات في وحدة حجم من ماء إحدى البحيرات والمعروف من دراسات سابقة أن الانحراف المعيارى لهذا المحتوى ذو قيمة

تكاد تكون ثابتة عند $\sigma = 4$. ما عدد عينات الماء التي ينبغي للباحث تحليلها لكي يثق بدرجة ٩٠٪ أن الخطأ في التقدير لا يتعدى ٠,٨ ؟

(٢) أ - أراد مهندس تقدير الوسط الحسابي للمدة التي تجف فيها خلطة معينة من الأسمنت تستخدم في إصلاح الطرق . وقد جرب هذه الخلطة في ١٠٠ بقعة ووجد أن الوسط الحسابي والانحراف المعياري لمدة الجفاف هما ٣٢ دقيقة و ٤ دقائق على الترتيب . استخدم هذه المعلومات لإيجاد فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ لمتوسط مدة جفاف هذه الخلطة .

ب - أراد المهندس أن يحدد حجم العينة (أى عدد البقع التي يجرب فيها الخلطة) لكي يكون متأكداً بدرجة ٩٥٪ أن متوسط مدة الجفاف المحسوب من عينة بهذا الحجم لا يختلف عن المتوسط الحقيقي لهذه المدة إلا بدقيقة واحدة على الأكثر . أوجد هذا الحجم علماً بأن الخبرة السابقة تشير إلى أن الانحراف المعياري لمدة الجفاف هو ٥ دقائق بالتقريب .

(٣) في أحد مراكز القلب والصدر يراد تقدير المعدل ح لوقوع حالات ضيق التنفس بين الذكور من متوسطى العمر ممن كانوا يدخنون أكثر من علبتين من السجائر في اليوم خلال خمس سنوات سابقة . ما حجم العينة التي نختارها بحيث نكون على ثقة بدرجة ٩٥٪ أن الخطأ في تقدير النسبة ح لا يزيد عن ٠,٠٣ ، علماً بأن المعروف أن قيمة χ^2 الحقيقية قريبة من ١٥,٩ ؟

QUALITY CONTROL

(٦ - ١١) مراقبة الإنتاج

من تطبيقات نظرية العينات في الصناعة ذلك التطبيق المسمى بمراقبة جودة الإنتاج ومعاينات القبول ، وهو يتعلق بإحدى المشكلات التي تظهر في المصانع التي تنتج سلعا على نطاق واسع . ويتمثل هذا التطبيق في استخدام فكرة فترات الثقة في التفتيش على جودة السلع المنتجة أثناء عملية الإنتاج .

ومن المعروف أن الوحدات المنتجة في أى مصنع لا يمكن أن تكون جميعها متشابهة تماما مهما تقدمت التكنولوجيا الصناعية بل توجد دائما انحرافات صغيرة عن المواصفات الموضوعة للسلعة تنشأ عن عدد كبير من العوامل الصغيرة التي لا يمكن التحكم فيها وتعتبر عوامل عشوائية ، ولا مفر للمصنع من أن يسمح بالتجاوز عن هذه الانحرافات طالما كانت في حدود معقولة يقبلها المنتج والمستهلك ، أما إذا خرجت الانحرافات عن هذه الحدود فإن المصنع يشتهى وجود خلل ما إما في أجزاء آلة المصنع أو في سلوك العمال أو في الإدارة أو أية مصادر أخرى للأخطاء ، وعليه حيثئذ أن يتحرى عن أسباب هذا الخلل ويعمل على تلافيه . وليس من المعقول أن يفحص المصنع كل وحدة ينتجها والمتبع أن يجرى الآتى .

نفرض مثلا أن مصنعا ينتج يوميا عشرات الألوف من الأنابيب الاسطوانية ذات مواصفات معينة منها أن طول الاسطوانة ٦ سنتيمترات مثلا . ليطمئن المصنع على توفر هذه الصفة يضع اختبارا إحصائيا ليختبر به الفرض أن الوحدات المنتجة تتوفر فيها الخاصية المطلوبة ، أى ليختبر الفرض الصفري $\mu = \mu_0$ ضد الفرض $\mu \neq \mu_0$ سم و يجرى هذا الاختبار في فترات منتظمة من الزمن ، مثلا كل نصف ساعة أو كل ساعة ، وفي كل مرة يأخذ عينة عادة من ٣ إلى ١٠ وحدات ويقيس متوسط الطول \bar{x} فيها و يطبق الاختبار . فإذا أدى الاختبار إلى قبول الفرض الصفري فإن هذا يعنى أن الإنتاج يسير سيرا طبيعيا ، أما إذا أدى إلى رفض الفرض الصفري فإن هذا يعنى أن انحرافات أطوال الوحدات المنتجة عن الطول المطلوب هي انحرافات جوهرية وينبغى حيثئذ التحرى عن أسباب هذه الانحرافات . وهذا ما يسمى بمراقبة الإنتاج .

وتوضع قاعدة الاختبار على هيئة فترة ثقة مركزها القيمة μ المطلوبة (أى أن حدى الثقة يكونان على بعدين متساويين من μ) . وإذا افترضنا أن توزيع الأطوال في الوحدات المنتجة معتدل متوسطه μ وانحرافه المعياري σ فإن توزيع المعاينة

للمتوسطات الحسابية للعينات التي من الحجم n يكون معتدلا متوسطه μ وانحرافه
المعياري $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ - راجع البند (٦ - ٣ - أولا) - وتكون الفترة

$$(\bar{x} - 2,58 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + 2,58 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$$

هي فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ للمتوسط μ . أى أنه في ٩٩٪ من العينات التي نأخذها
تقع μ في هذه الفترة ، أى تتحقق المتباينة الآتية :

$$\bar{x} - 2,58 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + 2,58 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

ومن هذه المتباينة المزدوجة ينتج أن

$$\bar{x} - 2,58 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \mu < \bar{x} < \bar{x} + 2,58 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \mu \quad (٢٩)$$

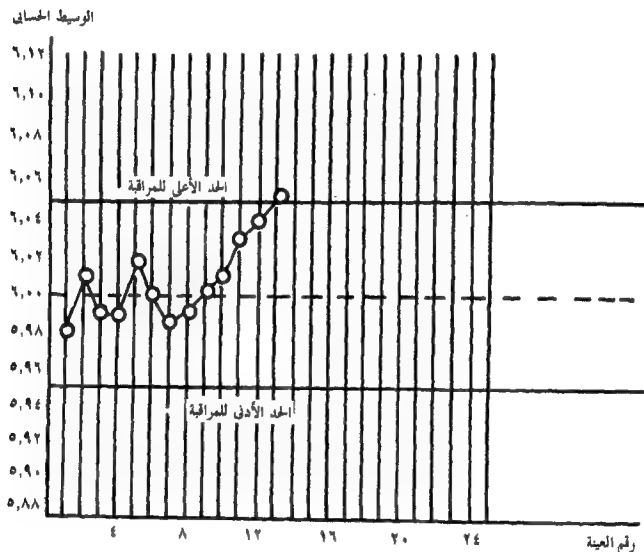
ويسمى الطرف الأيسر من هذه المتباينة **بحد المراقبة الأدنى** ، ويسمى الطرف الأيمن
منها **بحد المراقبة الأعلى** **upper and lower control limits** وعند المراقبة إذا أخذت عينة
ووجد أن متوسطها \bar{x} يقع بين هذين الحدين يقبل الفرض الصفري ويستمر
الإنتاج دون تعديل ، أما إذا ساوت \bar{x} أحد الحدين أو تعدته فيرفض الفرض
الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١ وينبغي حينئذ اتخاذ ما يلزم (وربما إيقاف
الآلة) لتحرى أسباب الخلل وإصلاحه .

وفي المعتاد تستخدم فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ أما إذا أردنا استخدام فترة ثقة بدرجة
٩٥٪ فإننا نضع العدد ١,٩٦ بدلا من العدد ٢,٥٨ في المتباينة (٢٩) - راجع
المثال (٤ - ٣) - أما قيمة σ فيمكن تقديرها من عينة عشوائية كبيرة تؤخذ من
الإنتاج عندما يكون في حالته الطبيعية .

ولتسهيل عملية المراقبة ترصد قيمة المتوسط \bar{x} لكل عينة مختبرة بالترتيب في خريطة تسمى بخريطة المراقبة control chart . فإذا فرضنا أن $\mu = 6$ م ،

$$\sigma = 0.6 \text{ م ، } n = 10 \text{ فإن حدى المراقبة يكونان } \pm 6 \times \frac{0.6}{\sqrt{10}} = 1.17 \times 6 = 7.02$$

أى بالتقريب ٥,٩٥ ، ٦,٠٥ من السستيمترات وتكون خريطة المراقبة كالآتى :



الشكل (٦-٦) : خريطة المراقبة للوسط الحسابى

وتبين هذه الخريطة الخطئين الممثلين للحدين الأدنى والأعلى للمراقبة ، كما تمثل النقطة متوسطات ١٣ عينة (حجم كل منها ١٠) بترتيب اختيارها وهى ٥,٩٨١ ، ٦,٠١١ ، ٥,٩٩١ ، ٥,٩٩٢ ، ٦,٠٢٢ ، ٦,٠٠٣ ، ٥,٩٨٥ ، ٥,٩٩٢ ، ٦,٠٠٤ ، ٦,٠١٣ ، ٦,٠٣٢ ، ٦,٠٤٣ ، ٦,٠٥٤ ، ويبدو من قيمة المتوسط الأخير أن الإنتاج في حاجة إلى تعديل عند الوصول إلى العينة ١٣ . هذا ويمكن بنفس الطريقة متابعة التغير في تباين الإنتاج أو في أى بارامتر آخر .

تمارين (٦ - ٥)

أخذت عشر عينات حجم كل منها ٤ وحدات في فترات منتظمة ووجد أن سمك الوحدات كما في الجدول الآتى . مثل متوسطات هذه العينات على خريطة مراقبة على فرض أن المجتمع معتدل متوسطه ٥ وانحرافه المعياري ١,٥٥ .

الزمن	٨/-	٨/٣٠	٩/-	٩/٣٠	١٠/-	١٠/٣٠	١١/-	١١/٣٠	١٢/-	١٢/٣٠
سمك الوحدة	٣	٣	٥	٧	٧	٤	٥	٦	٥	٥
	٤	٦	٢	٥	٣	٤	٦	٤	٥	٢
	٨	٦	٥	٤	٦	٣	٤	٦	٦	٥
	٤	٨	٦	٤	٥	٦	٦	٤	٤	٣

الفصل السابع

حساسية اختبارات الفروض

SENSITIVITY OF TESTS OF HYPOTHESES

لا يوجد قرار إحصائي منزوع عن الخطأ ، فالقرارات الإحصائية هي دائما قرارات احتمالية بمعنى أنه لا مفر من وجود احتمال للخطأ في أى قرار نصدره عن مجتمع عن طريق عينة . ولما كانت هذه القرارات مؤسسة على ما نجره من اختبارات للفروض وتزيد ثقتنا فيها بزيادة حساسية هذه الاختبارات ، وجب علينا أن ندرس كيف نزيد من هذه الحساسية أى من قدرة الاختبارات على تمكيننا من اتخاذ القرار السليم الذى لا يشوبه إلا قدر ضئيل من الخطأ . ويتأتى ذلك عن طريق التحكم ما أمكن في احتمالات الأخطاء التى تنجم حتما عند استخدام هذه الاختبارات . ومن الطبيعى إذن أن نبدأ بتقديم هذه الأخطاء توطئة لدراسة كيفية التقليل منها ما استطعنا إلى ذلك سبيلا .

(٧ - ١) نوعا الأخطاء الإحصائية :

نعلم حتى الآن أننا حين نكون بصدد اتخاذ قرار برفض أو قبول فرض صفري ف ضد فرض آخر ف_١ عند مستوى معين α من الدلالة ، نقوم أولا بتجزئ فضاء العينة إلى منطقتين منفصلتين ومتكاملتين ٢ ، ٢ نسمى إحداهما ٢ بمنطقة الرفض أو بالمنطقة الحرجة ونسمى الأخرى ٢ بمنطقة القبول . وإذا وقعت قيمة مشاهدة من إحصاء الاختبار في المنطقة ٢ رفضنا الفرض الصفري عند المستوى

α لصالح الفرض الآخر ، أما إذا وقعت القيمة المشاهدة في المنطقة α فإننا نقبل الفرض الصفري .

ونظرا لأننا لا نعرف مسبقا ما إذا كان الفرض الصفري صحيحا أو زائفا فإن القرار الذي نتخذه يكون على إحدى الحالات الآتية :

- (١) أن يكون الفرض الصفري صحيحا ويكون قرارنا هو رفض هذا الفرض .
- (٢) أن يكون الفرض الصفري صحيحا ويكون قرارنا هو قبول هذا الفرض .
- (٣) أن يكون الفرض الصفري زائفا ويكون قرارنا هو رفض هذا الفرض .
- (٤) أن يكون الفرض الصفري زائفا ويكون قرارنا هو قبول هذا الفرض .

ومن الواضح أن قرارنا يكون صائبا في الحالتين (٢) و(٣) ويكون خاطئا في الحالتين (١) و(٤) . يقال للخطأ الناشئ عن القرار (١) إنه خطأ من النوع الأول ، كما يقال للخطأ الناشئ عن القرار (٤) إنه خطأ من النوع الثاني . ويعرف هذان النوعان من الخطأ كالآتي :

الخطأ من النوع الأول : TYPE I ERROR

هو ذلك الخطأ الذي ينشأ حين نتخذ قرارا برفض الفرض الصفري بينما يكون هذا الفرض صحيحا في الواقع . ويرمز لاحتمال هذا الخطأ بالرمز α .

الخطأ من النوع الثاني : TYPE II ERROR

هو ذلك الخطأ الذي ينشأ حين نتخذ قرارا بقبول الفرض الصفري بينما يكون هذا الفرض زائفا في الواقع . ويرمز لاحتمال هذا الخطأ بالرمز β .

وقد اصطلح على تسمية المقدار $1 - \beta$ بقوة الاختبار power of the test وهو يعبر عن احتمال تجنب الخطأ من النوع الثاني . ومن الواضح أن قوة الاختبار تزيد كلما نقص الاحتمال β للخطأ من النوع الثاني والعكس بالعكس .

نلخص المعاني السابقة في الجدول (٧ - ١) الآتي :

الجدول (٧ - ١)

حالات رفض أو قبول الفرض الصفري

القرار	ف. صحيح	الحالة المجهولة للفرض الصفري ف. زائف
رفض ف.	خطأ I (باحتمال α)	صواب (باحتمال $1 - \beta$)
قبول ف.	صواب (باحتمال $1 - \alpha$)	خطأ II (باحتمال β)

يلاحظ أن كلا من الاحتمالين α ، β هو احتمال شرطي ونكتب :

$\alpha = L$ (رفض ف. | ف. صحيح) ، $\beta = L$ (قبول ف. | ف. زائف) .

في الأمثلة التي تناولناها في الفصل السابق كان اهتمامنا منصبا على الخطأ من النوع الأول وحرصنا على أن يكون الاحتمال α لهذا الخطأ عددا صغيرا يسمح لنا بالتجاوز عن هذا الخطأ ، وسمينا هذا العدد مستوى الدلالة واتخذناه كأحد أسس قاعدة اختبار الفروض ، خاصة فيما يتعلق بفصل فضاء العينة إلى منطقتي رفض وقبول الفرض الصفري . وسنتم الآن بالخطأ من النوع الثاني ، إذ ينبغي عند تصميم التجارب وبناء اختبارات الفروض أن نعمل على أن يكون كل من الاحتمالين α ، β صغيرا على قدر الإمكان .

غير أنه نظرا لأن تصغير أحد هذين الاحتمالين يؤدي إلى كبر الآخر كما سنرى في البند (٧ - ٢ - ٢) ، يكون من البحث البحث عن طريقة عامة تضمن صغر كل من هذين الاحتمالين معا ونكون حينئذ أمام مشكلة يجب أن نجد لها حلا .

والطريقة المعتادة لتناول هذه المشكلة تبدأ بالتحكم في احتمال الخطأ من النوع الأول (وهو الخطأ الأكثر خطورة) وذلك بوضع حد أعلى للاحتمال α فنختار لهذا الحد قيمة صغيرة مثل ٠,٠٥ أو ٠,٠١ ، ثم نحسب على أساسها كلا من منطقتي قبول ورفض الفرض الصفرى من واقع ما لدينا من بيانات ومن معرفتنا بتوزيع إحصاء الاختبار . بعد ذلك نقوم بحساب الاحتمال β ، فإذا كان هذا الاحتمال صغيرا تكون المشكلة قد حلت تلقائيا ، أما إذا كان كبيرا بدرجة لا نستطيع معها المجازفة به وجب علينا أن نعمل على تخفيض هذا الاحتمال . وهذا ما سنتناوله في البند (٧ - ٥) بعد تقديم طريقة حساب هذا الاحتمال والعوامل المؤثرة عليه .

طريقة إيجاد احتمال الخطأ من النوع الثانى :

نفرض أننا اخترنا مستوى الدلالة α وحددنا عند هذا المستوى كلا من منطقة الرفض 2 ومنطقة القبول 2 للفرض الصفرى مع ملاحظة أن بارامتر إحصاء الاختبار يتحدد هنا على أساس التسليم بصحة هذا الفرض . بعد ذلك نوجد احتمال وقوع قيم المتغير فى منطقة القبول 2 على أساس أن الفرض الصفرى زائف وأن الفرض الآخر هو الصحيح فيكون هذا الاحتمال هو احتمال قبول الفرض الصفرى عندما يكون زائفا أى هو الاحتمال β للخطأ من النوع الثانى مع ملاحظة اختلاف بارامتر إحصاء الاختبار . وعلى هذا فحساب الاحتمال β يكون على خطوتين هما :

(أ) تحديد منطقة القبول على أساس صحة الفرض الصفرى ،

(ب) إيجاد احتمال وقوع المتغير فى هذه المنطقة على أساس أن الفرض الآخر هو الصحيح .

سنوضح هذا الأسلوب لحساب قيمة الاحتمال β فى عدة حالات نبدأها فى البند (٧ - ٢) بحالة الاختبار ذى الجانب الواحد لفرض عن متوسط مجتمع معتدل

مع بيان العوامل المؤثرة على قوة الاختبار وكيفية زيادة هذه القوة ، ثم نطبق ذلك كله على ثلاث حالات أخرى نقدمها في البنود الثلاثة الأخيرة .

(٧ - ٢) حساب قيمة β في اختبار فرض عن متوسط معتدل - حالة الاختبار ذي الجانب الواحد .

مثال (٧ - ١) :

اعتبر مجتمعاً معتدلاً تباينه $\sigma^2 = ٤٩$ ووسطه الحسابي μ غير معروف . بين كيف تستخدم الوسط الحسابي \bar{x} لعينة عشوائية من الحجم $n = ٢٥$ لاختبار الفرض الصفري $\mu = ٧٥$ ضد الفرض الآخر $\mu < ٧٥$ عند مستوى الدلالة ٥٪ ثم أوجد قوة الاختبار عندما $\mu = ٧٦$.

الحل :

نظراً لأن المجتمع معتدل فإن المتغير $\bar{x} - \mu$ الذى يعبر عن الوسط الحسابي للعينات من الحجم n يكون ذا توزيع معتدل وسطه الحسابي μ وانحرافه المعياري $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ - راجع البند (٦ - ٣) - وبالتالي يكون للإحصاءة

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

توزيع معتدل معيارى : مع (١ ، ٠) .

لدينا $\sigma^2 = ٤٩$ ، $n = ٢٥$ ، $\alpha = ٠,١٥$ وإذن $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = ١,٤$

الفرض الصفري $\mu = ٧٥$:

الفرض الآخر $\mu < ٧٥$:

نظراً لأن الاختبار ذو جانب واحد هو الجانب الأيمن فإن منطقة الرفض α هي

تلك المنطقة التي يأخذ فيها الوسط الحسابي ست لعينة من الحجم ٢٥ قيمة أكبر من العدد ١ حيث :

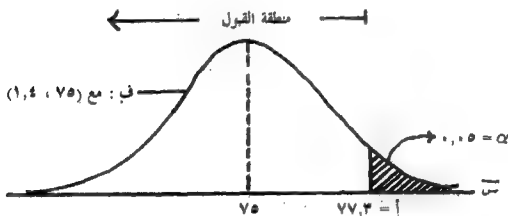
$$ل (ست < ١) = ٠,٠٥ \quad \text{تحت الفرض الصفري } \mu = ٧٥$$

$$\text{ومنها ل } (ست < ١) = \left(\frac{٧٥ - ١}{١,٤} < \frac{٧٥ - ست}{١,٤} \right) = ٠,٠٥$$

$$\text{أى ل (ع) } = \left(\frac{٧٥ - ١}{١,٤} < \right) = ٠,٠٥$$

من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى نجد أن

$$\text{ومنها } ١ = ٧٧,٢٩٦ = ٧٧,٣ \text{ تقريبا} \quad \frac{٧٥ - ١}{١,٤} = ١,٦٤$$



الشكل (٢-١)

منطقتا القبول والرفض في اختبار ذي جانب واحد

وإذن المنطقة التي نرفض فيها الفرض الصفري $\mu = ٧٥$ حين يكون هذا الفرض صحيحا وعند المستوى $\alpha = ٠,٠٥$ هي تلك المنطقة التي تأخذ فيها الأوساط الحسابية للعينات ذوات الحجم ٢٥ قيمة تزيد عن ٧٧,٣ واحتمال وقوع المتغير

في هذه المنطقة هو ٥٪، وتعبر عن هذا الاحتمال مساحة الجزء المظلل بالشكل (٧ - ١) . وعلى ذلك تتحدد قاعدة الاختبار كالآتي :

« إذا وقع الوسط الحسابي \bar{x} لعينة عشوائية من الحجم ٢٥ في المنطقة ٢ = $\{ \bar{x} : \bar{x} < ٧٧,٣ \}$ نرفض الفرض الصفري H_0 عند مستوى الدلالة ٥٪ . وإلا نقبل H_0 . »

أما منطقة قبول الفرض الصفري فهي بالطبع المنطقة $\bar{x} \geq ٧٧,٣$ المكمل لمنطقة الرفض . أى أننا نقبل الفرض الصفري إذا كان الوسط الحسابي لعينة عشوائية من الحجم ٢٥ مأخوذة من التوزيع الممثل لهذا الفرض يساوى أو يقل عن ٧٧,٣ ونسبة هذه العينات هي ٩٥٪ من العينات التى تؤخذ من هذا التوزيع .

ولكن ماذا لو كان الفرض الصفري راثقا والفرض الآخر هو الصحيح ؟ نفرض مثلا أن القيمة الصحيحة هي $\mu = ٧٦$ (وهذه قيمة تحقق الفرض الآخر $\mu < ٧٥$) .

في هذه الحالة يكون للمتغير \bar{x} توزيع معتدل : مع (٧٦ ، ١,٤) ، ويتبع ما يلى :

$$\beta = \text{احتمال قبول الفرض الصفري عندما يكون زائفا والفرض الآخر}$$

$$\mu = ٧٦ \text{ هو الصحيح}$$

= احتمال وقوع قيم المتغير \bar{x} في منطقة القبول $\bar{x} \geq ٧٧,٣$ حين يكون لهذا المتغير

توزيع معتدل مع (٧٦ ، ١,٤)

$$= ١ - P(\bar{x} \geq ٧٧,٣) \text{ حيث } \bar{x} : \text{مع } (٧٦ ، ١,٤)$$

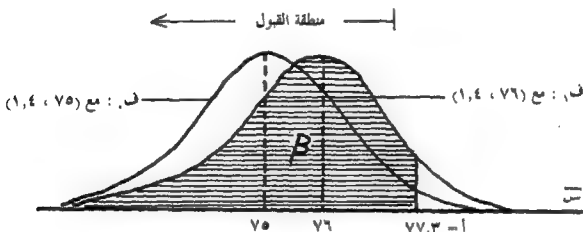
$$= ١ - P\left(\frac{\bar{x} - ٧٦}{1,4} \geq \frac{٧٧,٣ - ٧٦}{1,4}\right) = ١ - P(ع \geq ٠,٩٣)$$

من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعياري نجد أن

$$\beta = ٠,٨٢٣٨ = ٠,٨٢ \text{ تقريبا}$$

وهذا هو احتمال الوقوع في الخطأ من النوع الثاني . أما قوة الاختبار عندما تأخذ μ القيمة ٧٦ فهي $\beta - 1 = 0,18$

لتوضح ذلك هندسيا نرسم كما في الشكل (٧ - ٢) توزيع المتغير \bar{x} في حالتين ، أولاها عندما يكون الفرض الصفري F صحيحا ويكون التوزيع معتدلا متوسطه ٧٥ وثانيها عندما يكون الفرض الآخر F_1 صحيحا ويكون التوزيع معتدلا متوسطه ٧٦ .



الشكل (٧ - ٢)

التوزيع المثل للفرض الصفري والتوزيع المثل للفرض الآخر

(مساحة الجزء المظلل تعبر عن الاحتمال β في اختبار ذي جانب واحد)

من هذا الشكل يتبين أن بعض العينات التي تنتمي إلى توزيع F_1 تكون متوسطاتها واقعة في منطقة القبول لتوزيع F . ونسبة هذه العينات هي نسبة الجزء من توزيع F_1 الذي يشترك مع توزيع F في منطقة القبول ، وهي تعطى بالاحتمال L ($L \geq 0,77,3$) محسوبا من توزيع F_1 وهذا الاحتمال هو بالضبط احتمال قبول الفرض الصفري عندما يكون الفرض الآخر هو الصحيح ، أي هو الاحتمال β للخطأ من النوع الثاني .

(يلاحظ أننا لا نستطيع حساب قيمة β إلا إذا حددت قيمة معينة مثل $\mu = 76$ للبارامتر μ تحقق الفرض الآخر (وهو $\mu < 75$) وذلك لكي يتحدد التوزيع الممثل للفرض الآخر تحديدا تاما) .

POWER FUNCTION

(٧ - ٢ - ١) دالة القوة

في هذا المثال وجدنا أن قوة الاختبار عندما نفترض أن $\mu = 76$ هي ٠,١٨ .
وتختلف هذه القوة بحسب قيمة μ فإذا افترضنا أن $\mu = 77$ نجد بنفس المنطق السابق أن

$$\beta = 1 - \bar{\alpha} \geq 0,3 \quad \text{حيث } \bar{\alpha} : \text{ مع } (77, 1,4)$$

$$\beta = 1 - \bar{\alpha} \geq \frac{77 - 77,3}{1,4} = 0,21 \quad \text{حيث } \bar{\alpha} : \text{ مع } (77, 1,4)$$

$$0,58 = 1 - 0,42 = \beta \quad \text{وبالتالي يكون قوة الاختبار } \beta = 0,58$$

$$\text{وبالمثل : بأخذ } \mu = 78 \text{ نجد أن } \beta = 0,31 \text{ و } \alpha = 0,69$$

$$\text{وبأخذ } \mu = 79 \text{ نجد أن } \beta = 0,11 \text{ و } \alpha = 0,89$$

$$\text{وبأخذ } \mu = 80 \text{ نجد أن } \beta = 0,03 \text{ و } \alpha = 0,97 \dots \text{ الخ}$$

ومن هذا نرى أن قوة الاختبار تتوقف على البارامتر μ أى هي دالة د في μ تأخذ الصيغة الآتية :

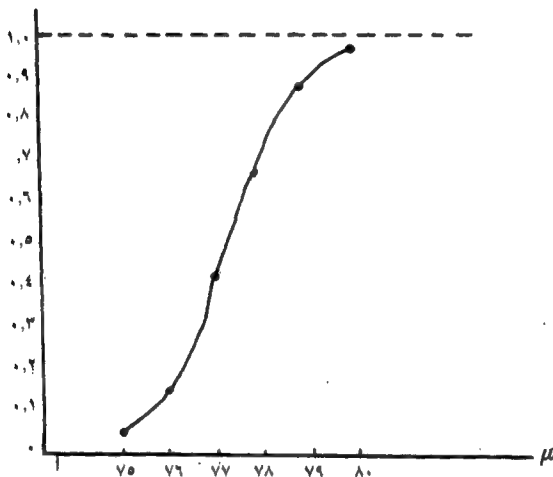
$$\text{دالة قوة الاختبار } D(\mu) = 1 - \bar{\alpha} = \beta = 1 - \bar{\alpha} \geq 0$$

$$\text{حيث } \bar{\alpha} : \text{ مع } (\mu, 1,4) \quad \text{حيث } \bar{\alpha} : \text{ مع } (\mu, 1,4)$$

وحيث α هي القيمة الحرجة التي تفصل بين منطقتي القبول والرفض . (قيمة الدالة د عند قيمة معينة μ تسمى قوة الاختبار عند القيمة μ) .

وتمثل دالة القوة بيانيا كما في الشكل (٧ - ٣) الذى يوضح أنها دالة تزايدية ، تزيد قيمتها كلما بعدت قيمة μ التى يحددها الفرض الآخر عن قيمة μ التى يحددها الفرض الصفري .

د (μ) = قوة الاختبار



الشكل (٧ - ٣)

منحنى القوة لاختبار المثال (٧ - ٩) - إحصار ذو جانب واحد

في هذا المثال وجدنا أن احتمال الخطأ من النوع الثانى $\beta = 0.82$ ومن الواضح أن هذا الاحتمال هو احتمال كبير لهذا الخطأ لا ينبغي أن نسمح به حين نتخذ قرارا

بشأن رفض أو قبول الفرض الصفري لأنه يجعلنا نشك في حساسية الاختبار ، بمعنى أنه إذا كانت $\alpha = 0.05$ ، $\sigma^2 = 49$ وأخذنا عينة من الحجم $n = 25$ فإن هذه العينة لا تكون قادرة على التمييز بين الفرضين بدرجة كافية من الثقة ، إذ بالرغم من أن ٩٥٪ من العينات المأخوذة من التوزيع الذى يفترض صحة الفرض الصفري ($\mu = 70$) تقع في منطقة القبول ، إلا أن ٨٢٪ من العينات المأخوذة من التوزيع الذى يفترض صحة الفرض الآخر ($\mu = 76$) تقع أيضا في المنطقة ذاتها . وهذا التداخل الكبير هو الذى نعينه بقولنا إن الاختبار ذو قوة ضعيفة أو أنه اختبار غير حساس .

في مثل هذه الحالة يجب أن ندخل تعديلا في تصميم التجربة التى تمدنا بالبيانات التى نتخذ قرارنا على أساسها لتلافي الوقوع في خطأ كبير من النوع الثانى وإعطاء الاختبار قوة كافية للتمييز بين مختلف الفروض . وفى بحثنا عن التعديل اللازم لتحقيق هذا الغرض نبدأ بتدارس العوامل التى تؤثر في هذا الخطأ .

(٧ - ٢ - ٢) العوامل المؤثرة في الخطأ من النوع الثانى :

بالتأمل في المثال السابق يتبين لنا أن الاحتمال β للخطأ من النوع الثانى وقوة الاختبار ه يتوقفان على القيم الآتية :

(١) القيمة التى تختار للاحتمال α للخطأ من النوع الأول :

ذلك لأن هذه القيمة هى التى تحدد القيمة الحرجة α (تساوى ٧٧,٣ في هذا المثال) التى تفصل بين منطقتى الرفض والقبول . وكلما صغرت قيمة α كلما صغرت منطقة الرفض وأزيمحت إلى اليمين (في هذا المثال) واتسعت منطقة القبول وبالتالي زاد احتمال هذه المنطقة تحت الفرض الآخر . ومن هنا يمكننا تقبل الحقيقة الآتية :

كلما صغر الاحتمال α للخطأ من النوع الأول كلما كبر الاحتمال β للخطأ من النوع الثاني وصغرت قوة الاختبار .

وهذه الحقيقة تعطينا سببا وجيها يبرر التقليد المتبع باختيار $\alpha = 0.05$ أو $\alpha = 0.01$ ، لأن اختيارنا لقيم تقل عن ذلك يؤثر تأثيرا سيفا في الاحتمال β الذى يمكن التحكم فيه بتكبير حجم العينة كما سيتبين بعد .

(٢) قيمة البارامتر μ

بالتأمل فى قيم β أو α التى حسبناها فى البند (٧ - ٢ - ١) نجد أن هذه القيم تتوقف على بعد القيمة μ التى يحددها الفرض الآخر عن القيمة μ التى يحددها الفرض الصفرى . ومن الناحية الهندسية إذا كانت μ ، μ قريتين من بعضهما أى كان متوسطا توزيعى F ، F قريين من بعضهما فإن التداخل بين هذين التوزيعين فى منطقة القبول يكون كبيرا وهذا يؤدى إلى كبر الاحتمال β وصغر قوة الاختبار . أما إذا كانت μ بعيدة عن μ فإن هذا التداخل يكون صغيرا ويؤدى إلى صغر الاحتمال β وكبر قوة الاختبار . وتتضح هذه الحقيقة أيضا عند التأمل فى منحنى دالة القوة المبين بالشكل (٧ - ٣) . ومن هنا يمكننا تقبل الحقيقة الآتية :

كلما زاد الفرق بين القيمة التى يحددها الفرض الصفرى للبارامتر المختبر والقيمة التى يحددها الفرض الآخر ، كلما صغر الاحتمال β وزادت قوة الاختبار

(٣) الخطأ المعيارى لإحصاءة الاختبار :

فى المثال (٧ - ١) كان الخطأ المعيارى لإحصاءة الاختبار هو $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1.4$ ووجدنا أن قيمة العدد z الذى يفصل بين منطقتى الرفض والقبول هى ١.٧٧ ، ٣ . إذا

أجرينا تعديلا في هذا المثال بحيث يصبح الخطأ المعياري أقل من ١,٤ نجد أن σ تصغر وتزاح النقطة الممثلة لها على توزيع الإحصاء \bar{X} إلى اليسار وبالتالي تصغر منطقة القبول ويقل الاحتمال β . فمثلا إذا أخذنا $\frac{\sigma}{\sqrt{V}} = 1,1$ فإن

$$L(\bar{X} < 1) = 0,05 \quad \text{ومنها} \quad L(1 < \bar{X}) = 0,05 = \left(\frac{1 - 0,75}{1,1} \right)$$

$$\therefore 1,64 = \frac{1 - 0,75}{1,1} \quad \therefore 1 = 0,76, 804 \quad \text{وهذا العدد أصغر من } 0,77, 3 \quad \text{ومن}$$

هنا يمكننا تقبل الحقيقة الآتية :

كلما صغر الخطأ المعياري لإحصاء الاختبار
كلما صغر الاحتمال β وزادت قوة الاختبار .

ومن الواضح أن قيمة الكسر $\frac{\sigma}{\sqrt{V}}$ تتوقف على قيمتين هما الانحراف المعياري σ للمجتمع وحجم العينة n ، ويصغر هذا الكسر (أى يصغر الخطأ المعياري) إذا صغرت قيمة σ فقط أو كبرت قيمة n فقط أو صغرت σ وكبرت n في الوقت نفسه .

(٧ - ٢ - ٣) كيفية زيادة قوة الاختبار :

في الفقرة السابقة وجدنا أن قوة الاختبار تتوقف على أربع قيم هي α ، μ ، σ ، n . ولما كانت القيمتان α ، μ تتحددان سلفا بحسب خبرة الباحث وطبيعة المشكلة التي يتناولها ، لا يبقى لدينا من الناحية الإحصائية لزيادة قوة الاختبار إلا الاعتماد على تصغير الخطأ المعياري $\frac{\sigma}{\sqrt{V}}$ وذلك بتصغير σ أو تكبير n .

ونظرا لأننا نقدر عادة تباين المجتمع σ^2 من تباين العينة فإن زيادة قوة الاختبار تقتضى أن نحرص على ألا يكون هذا التقدير أكبر مما ينبغي وهذا لا يتأتى إلا

بالتحكم الجيد في ظروف التجريب واستبعاد تأثير أية عوامل خارجية تؤثر في المشاهدات وتسهم في زيادة تباينها .

أما زيادة حجم العينة فهو العامل الرئيسى الذى نعتد عليه في زيادة قوة الاختبار ، وهذه أهم نتيجة نخرج بها من هذا الفصل وتتلخص في الحقيقة الآتية :

إذا تساوت جميع الظروف ، كلما كبر حجم العينة
كلما صغر الاحتمال β وزادت قوة الاختبار .

الحد الأمثل لحجم العينة :

على أن كفاءة التجريب تستدعى ألا يكون حجم العينة أكبر مما ينبغي تحسباً لما تتطلبه هذه العملية من جهد ووقت وتكاليف ، ومن المناسب إذن وضع حد أعلى لحجم العينة يحقق الهدف المنشود من زيادة قوة الاختبار دون تحمل أعباء لا ضرورة لها . غير أنه لا توجد قاعدة عامة لتحديد الحجم المناسب للعينة ، إلا أننا نستطيع ذلك في بعض الحالات الخاصة ومنها الحالات التى يتناولها هذا الفصل .

ففى حالة اختبار فرض عن متوسط مجتمع معتدل ، نفرض أننا حددنا مسبقاً قيمة α وقيمتى الفرض الصفري والفرض الآخر . إذا أردنا أن نضمن أن يأخذ احتمال الخطأ من النوع الثانى قيمة محددة β يمكن إثبات أن الحد الأعلى لحجم العينة الذى يحقق هذا الضمان ينتج من حل المعادلة الآتية :

$$(1) \quad \frac{f}{x_2 - x_1} = 0.20$$

حيث $x_2 =$ الخطأ المعياري لإحصاء الاختبار
، $f =$ الفرق بين القيمة التى يحددها الفرض الصفري والقيمة التى يحددها الفرض الآخر

أما α ، β ، فتحددان محل المتباينتين الآتيتين :

$$\alpha = \left. \begin{array}{l} \text{ل (} \epsilon < \epsilon_0 \text{)} \\ \text{إذا كان الاختبار ذا جانب واحد} \end{array} \right\}$$

$$\beta = \left. \begin{array}{l} \text{ل (} \epsilon \geq \epsilon_0 \text{)} \\ \text{إذا كان الاختبار ذا جانبيين} \end{array} \right\}$$

$$\beta = \left. \begin{array}{l} \text{ل (} \epsilon \geq \epsilon_0 \text{)} \end{array} \right\}$$

حيث ϵ هو المتغير المعتدل المعيارى : مع (٠ ، ١) . أى أن ϵ_0 ، ϵ توجدان من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى بمجرد التعويض عن قيمتى α ، β . والمعادلة (١) هى معادلة عامة فى حالة اختبار فرض عن متوسط مجتمع معتدل أو اختبار الفرق بين متوسطى مجتمعين معتدلين ، مع بعض الاختلافات فى حساب القيم التى تتركب منها هذه المعادلة كما سنرى بعد .

مثال (٧ - ٢) :

اعتبر المثال (٧ - ١) حيث $\sigma^2 = ٤٩$ ، $\alpha = ٠,٠٥$ نريد اختبار الفرض $\mu = ٧٥$ ضد الفرض $\mu < ٧٥$. وإذا أخذنا $\mu = ٧٨$ فأوجد الحد الأعلى لحجم العينة الذى يضمن أن تكون $\beta = ٠,٠٨$.

الحل :

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = ٠,٢$$

$$f = \mu - \mu_0 = ٧٨ - ٧٥ = ٣$$

من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى نجد أن :

$$\text{ل (} \epsilon < \epsilon_0 \text{)} = \alpha = ٠,٠٥ \text{ تعطى } \epsilon_0 = ١,٦٤ \text{ (اختبار ذو جانب واحد)}$$

واحد

$$\text{ل (} \epsilon \geq \epsilon_0 \text{)} = \beta = ٠,٠٨ \text{ تعطى } \epsilon_0 = ١,٤١$$

بالتعويض في المعادلة (١) ينتج أن :

$$\frac{3}{3,05} = \frac{3}{(1,41) - 1,64} = \frac{7}{\sqrt{7}}$$

$$50,6469 = \frac{(3,05 \times 7)}{3} = n \therefore$$

أى أننا إذا أعدنا التجربة بأخذ عينة عشوائية من الحجم ٥١ (بدلا من الحجم ٢٥) فإننا نضمن أن يكون احتمال الخطأ من النوع الثانى $\beta = 0,08$ (تحقق من ذلك بأخذ $n = 51$ وإثبات أن القيمة الحرجة $1 = 76,607$ والاحتمال $\beta = 0,0778$). يلاحظ أننا استطعنا أن نضمن احتمالا صغيرا هو $0,08$ للخطأ من النوع الثانى (بدلا من الاحتمال $\beta = 0,31$ الذى وجدناه فى عينة بالحجم ٢٥) ، إلا أن ذلك كان على حساب زيادة حجم العينة إلى الضعف تقريبا فى هذا المثال .

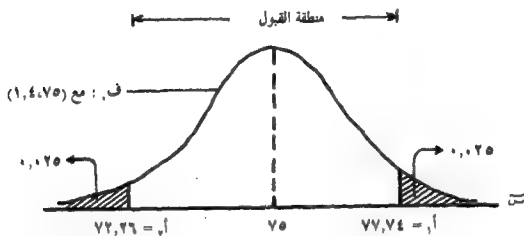
(٧ - ٣) حساب قيمة β فى اختبار فرض عن متوسط مجتمع معتدل - حالة الاختبار ذى الجانبين .
مثال (٧ - ٣) :

بأخذ بيانات المثال (٧ - ١) بين كيف تستخدم الوسط الحسابى لعينة لاختبار الفرض الصفري ف : $\mu = 75$ ضد الفرض الآخر $\mu \neq 75$ عند مستوى الدلالة $0,05$. حدد قوة الاختبار عند $\mu = 76$ وارسم دالة القوة لهذا الاختبار .

الحل :

نظرا لأن المجتمع معتدل يكون للمتغير \bar{x} توزيع معتدل : مع $(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$ وبالتالي يكون للاحصاءة
$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$
 توزيع معتدل معيارى : مع $(0, 1)$.

ونظرا لأن الاختبار ذو جانبيين فإن منطقة رفض الفرض الصفري تتألف من جزئين متساويين في جانبي التوزيع . لتكن α هي القيمة الحرجة التي تحد منطقة الرفض اليمنى من اليسار ، ولتكن α' هي القيمة الحرجة التي تحد منطقة الرفض اليسرى من اليمين . انظر الشكل (٧ - ٤) .



الشكل (٧ - ٤)

منطقتا الرفض والقبول في اختبار ذي جانبيين

لإيجاد قيمتي α ، α' نستخدم جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعياري كالاتي :

$$\text{ل } (\bar{S} < \alpha) \quad ٠,٢٥ = \frac{٠,٥}{٢} = \text{حيث } \bar{S} : \text{ مع } (١,٤, ٧٥)$$

$$\therefore \text{ل } (٠,٢٥ = \frac{٠,٥}{٢} < \frac{٧٥ - \bar{S}}{١,٤}) \text{ أى ل } (٠,٢٥ = \frac{٧٥ - \alpha'}{١,٤} < \frac{٧٥ - \alpha}{١,٤})$$

$$\therefore ١,٩٦ = \frac{٧٥ - \alpha'}{١,٤} \quad \text{ومنها } \alpha' = ٧٧,٧٤٤$$

بالمثل ، ل $(\bar{S} > 1) = \frac{1-0}{1} = 0,025$ حيث \bar{S} : مع (١,٤ ، ٧٥)

$$\therefore \text{ل } (ع > \frac{75-1}{1,4}) = 0,025$$

$$\therefore 1,96 - \frac{75-1}{1,4} = 72,256 \text{ ومنها } 1$$

وإذاً نتحدد منطقة قبول الفرض الصفري حين يفترض صحته بالفترة (٧٧,٧٤ ، ٧٢,٢٦) وتكون قاعدة الاختبار كالآتي :

« إذا وقع الوسط الحسابي لعينة عشوائية من الحجم ٢٥ خارج المنطقة ٢ = $\{\bar{S} : 77,74 \leq \bar{S} < 72,26\}$ نرفض الفرض الصفري ف عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ، وإلا نقبل ف »

نحسب الآن الاحتمال β عند $\mu = 76$ وفقاً للمنطق السابق .
 β = احتمال وقوع قيم المتغير \bar{S} في منطقة القبول (٧٧,٧٤ ، ٧٢,٢٦) تحت الفرض الآخر $\mu = 76$

$$= \text{ل } (77,74 < \bar{S} < 72,26) \text{ حيث } \bar{S} : \text{ مع } (1,4 , 76)$$

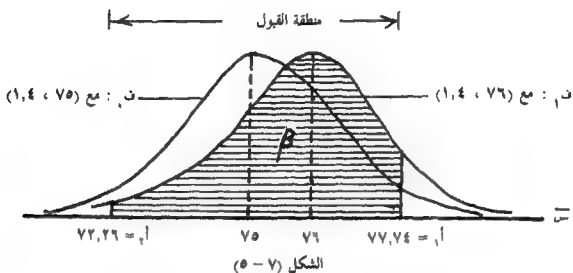
$$\text{ل } (\frac{76-72,26}{1,4} \leq \frac{76-\bar{S}}{1,4} \leq \frac{76-77,74}{1,4}) =$$

$$= \text{ل } (1,24 \leq ع \leq 2,67) = 0,89 \text{ تقريباً}$$

$$\therefore \text{قوة الاختبار عند } \mu = 76 \text{ هي } 1 - 0,89 = 0,11 \text{ تقريباً}$$

لتوضيح ذلك هندسياً نرسم كما في الشكل (٧ - ٥) توزيع المتغير \bar{S} تحت كل من الفرضين ف : $\mu = 75$ وف : $\mu = 76$ من هذا الشكل يلاحظ

أن الاحتمال $\beta = 0,89$ هو نسبة الجزء من توزيع F_1 الذى يشترك فى منطقة القبول مع توزيع F_2 ، وهذه النسبة تعبر عنها مساحة الجزء المظلل من الشكل (٥ - ٧) .



التوزيع المظلل للفرض الصفري والتوزيع المظلل للفرض الآخر
(مساحة الجزء المظلل تعبر عن الاحتمال β فى اختبار دى جانين)

فى هذه الحالة تأخذ دالة قوة الاختبار الصيغة الآتية :

$$D(\mu) = L(\bar{x} \leq x_1) + L(\bar{x} \geq x_2)$$

$$= 1 - L(x_1 < \bar{x} < x_2)$$

وفى هذا المثال نجد أن :

$$D(\mu) = 1 - L(72,26 < \bar{x} < 77,74) \quad \text{حيث } \bar{x} : \text{مع } (\mu, 1,4)$$

$$\text{وقد وجدنا أن } D(76) = 0,89 - 1 = 0,11$$

وبالمثل نجد ما يلى :

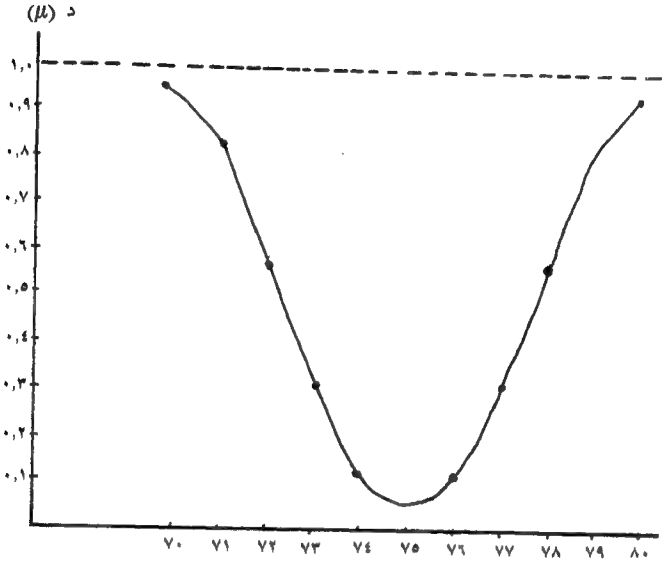
$$D(77) = 0,30 \quad \text{ود } (78) = 0,57 \quad \text{ود } (79) = 0,82 \quad \text{ود } (80) = 0,94$$

... الخ . ومن التمثال نجد أن

$$D(74) = 0,11 \quad \text{ود } (73) = 0,30 \quad \text{ود } (72) = 0,57 \quad \text{ود } (71) = 0,82$$

$$\text{ود } (70) = 0,94 \dots \text{ الخ}$$

والشكل (٧ - ٦) يمثل هذه الدالة بيانيا .



الشكل (٧-٦)

معنى القوة لاختبار المال (٧-٦) - اختبار ذو جانبيين

إن الملاحظات والحقائق التي ذكرت في البند (٧ - ٢ - ٢) عن العوامل المؤثرة في قيمة β تنطبق هنا أيضا . فكلما صغر الاحتمال α كلما صغر جزءا منطقة الرفض ، واتسعت منطقة القبول وهذا يؤدي إلى زيادة الاحتمال β وصغر قوة الاختبار . كذلك كلما بعدت القيمة μ التي يفرضها الفرض الآخر عن القيمة التي يحددها الفرض الصفري كلما قل التداخل بين توزيعي ف . ، ف_١ وصغرت

β وزادت قوة الاختبار . وأخيرا كلما نُقص الخطأ المعياري سواء بتصغير الانحراف المعياري σ للمجتمع أو بزيادة حجم العينة ، كلما صغرت β وزادت قوة الاختبار .

وجدير بالملاحظة هنا أنه إذا تساوت جميع الظروف فإن الاحتمال β للخطأ من النوع الثانى يكون أقل فى الاختبار ذى الجانب الواحد منه فى الاختبار ذى الجانبين ، أى أن الاختبار ذا الجانب الواحد يكون أقل تعرضا لهذا النوع من الخطأ .

وكما فى البند (٧ - ٢ - ٣) حين نتناول اختبارا ذا جانبين لفرض عن متوسط مجتمع معتدل ، إذا تحددت قيم α ، μ ، σ وأردنا أن نضمن أن يأخذ احتمال الخطأ من النوع الثانى قيمة محددة β فإن الحد الأعلى لحجم العينة الذى يوفر هذا الضمان هو ذلك الذى ينتج من حل نفس المعادلة (١) السابق تقديمها وهى :

$$\frac{f}{e_1 - e_2} = ٠.٢$$

والفرق فى استخدام هذه المعادلة بين الحالتين يحدث فقط فى حساب القيمة e_1

مثال (٧ - ٤) :

فى المثال (٧ - ٣) حيث $\sigma = ٤٩$ ، $\alpha = ٠.٠٥$ ، $\mu = ٧٥$ إذا أخذنا $\mu = ٧٨$ فأوجد الحد الأعلى لحجم العينة الذى يضمن أن تكون $\beta = ٠.١٠$.

الحل :

$$\frac{y}{\sigma_y} = \frac{g}{\sigma_y} = ٠.٢ \text{ خ}$$

$$٣ = ٧٥ - ٧٨ = \mu - \mu \text{ ف}$$

ل ($E < ٤$) $\alpha = ٠,٠٢٥$ ومنها $\alpha = ١,٩٦$ (اختبار ذو جانبيين)
ل ($E \geq ٤$) $\beta = ٠,١٠$ ومنها $\beta = ١,٢٨$

$$\frac{1}{1,08} = \frac{3}{3,24} = \frac{3}{(1,28) - 1,96} = \frac{7}{\sqrt{7}} \therefore$$

$$\text{ومنها } n = (1,08 \times 7)^2 = ٥٧,١٥$$

أى أنه يكفى أن نأخذ عينة حجمها ٥٨ لنضمن أن تكون $\beta = ٠,١٠$ (تحقق
من ذلك بأخذ $n = ٥٨$ وإثبات أن القيمتين الحرجتين هما $\alpha = ٧٦,٨٠$ ،
 $\beta = ٧٣,١٩٩$ وأن $\beta = ٠,٠٩٨١$)

(٧ - ٤) حساب قيمة β فى اختبار الفرق بين متوسطى مجتمعين
معتدلين :

نستخدم نفس الأسلوب المقدم فى البندين السابقين مع مراعاة طريقة حساب
الخطأ المعيارى التى تتطلبها هذه الحالة .

مثال (٧ - ٥) :

لتجربة أقراص لإنقاص الوزن عند النساء ، اختبرت ٤٠ من إناث القطة المنزلية
وقسمت عشوائيا إلى مجموعتين بكل منها ٢٠ قطة ووضعت المجموعتان تحت نفس
الظروف والنظام الغذائى فيما عدا أن الأقراص كانت تضاف إلى غذاء واحدة فقط
من المجموعتين . وبعد ستة أسابيع وباستخدام مقياس معين حسب الوسطان
الحسابيان \bar{X}_1 ، \bar{X}_2 للمجموعتين . إذا اعتبرنا أن المجموعتين مستقلتان
ومأخوذتان من مجتمعين معتدلين تباین كل منها ٤٠ ومتوسطاهما μ_1 ، μ_2 :
(أولا) بين كيف نختبر الفرض الصفري $\mu_1 = \mu_2$ ضد الفرض $\mu_1 \neq \mu_2$.
عن مستوى الدلالة ٠,٠٥ .

(ثانياً) أوجد قوة الاختبار عندما يفترض أن الفرق بين متوسطى المجتمعين يساوى ٣ وحدات .

(ثالثاً) أوجد الحد الأدنى لحجم العينة الذى يضمن أن يكون الاحتمال β للخطأ من النوع الثانى يساوى ٠,١٥ .

الحل :

(أولاً)

نظراً لأن المجتمعين معتلدان والعينتين مستقلتان فإن المتغير العشوائى $\bar{y}_1 - \bar{y}_2$ يكون ذا توزيع معتدل وسطه الحسابى $\mu_1 - \mu_2$ وتباينه يساوى

$$\frac{\sigma^2}{n} = \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{n} \quad \text{لأن } \sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad \text{و } n_1 = n_2 = n$$

وبالتالى يكون للإحصاءة

$$\frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} = z$$

توزيع معتدل معيارى : مع (١, ٠) .

$$\text{لدينا } \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = 40 \quad \text{و } n_1 = n_2 = 20$$

$$\text{اذن } z = \frac{40 \times 2}{20} \sqrt{2} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \quad \text{وهذا هو الخطأ المعيارى للإحصاءة}$$

الفرض الصفري F_0 هو $\mu_1 = \mu_2$

الفرض الآخر F_1 هو $\mu_1 \neq \mu_2$ (اختبار ذو جانبيين) ، $\alpha = 0.05$

نظرا لأن الاختبار ذو جانبيين فإن منطقة رفض الفرض الصفري تتألف من منطقتين

عند ذيلي التوزيع يحدهما العددان z_1 ، z_2 بحيث

$$z_1 = (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) / \sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}} < -z_{\alpha/2} \quad \text{و} \quad z_2 = (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) / \sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}} > z_{\alpha/2}$$

على أن يحسب كلا الاحتمالين على أساس التسليم بصحة الفرض الصفري

$\mu_1 = \mu_2$ أى من الإحصاءة

$$z = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - \text{صفر}}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}}$$

التي تتبع التوزيع المعتدل المعيارى : مع (1 ، 0) .

$$\text{لدينا } z = (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) / \sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}} < -z_{\alpha/2} \quad \text{و} \quad z = (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) / \sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}} > z_{\alpha/2}$$

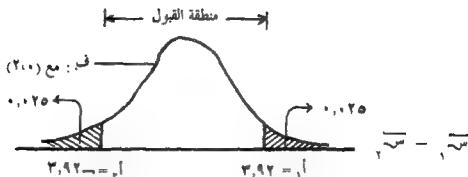
$$0.025 =$$

من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل نجد أن

$$1.96 = \frac{1}{2} \quad \text{ومنها } 3.92 = \frac{1}{2}$$

من التماثل نجد أن :

$$1.96 = \frac{1}{2} \quad \text{ومنها } 3.92 = \frac{1}{2}$$



الشكل (٧ - ٧)

وإذن تتألف المنطقة التي نرفض فيها الفرض الصفري ف : $\mu = \mu_0$ عند المستوى ٠,٠٥ من اتحاد المنطقتين $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) < 3.92$ و $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) > 3.92$ أى من المنطقة التي يأخذ فيها الفرق بين الوسطين الحسابيين للعينات من الحجم ٢٠ قيمة تزيد عن ٣,٩٢ أو قيمة تقل عن - ٣,٩٢ واحتمال هاتين المنطقتين معا تعبر عنه مساحتي الجزئين المظللين بالشكل (٧ - ٧) ، وتكون منطقة القبول هي المنطقة المكملة لهاتين المنطقتين أى المنطقة التي تحددها الفترة $(- 3.92 , 3.92)$ وتحدد قاعدة الاختبار كالآتي :

« إذا وقع الفرق بين متوسطي عيتين مستقلتين من الحجم ٢٠ خارج المنطقة $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 : 3.92 \leq \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \leq - 3.92$ نرفض الفرض الصفري ف. عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ وإلا نقبل ف. ١٠

(ثانيا)

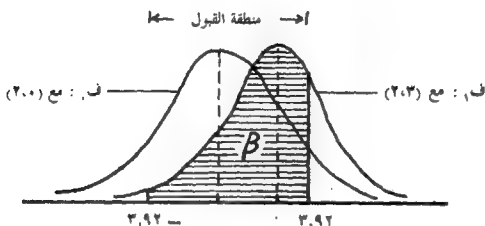
لحساب قيمة β نحسب احتمال وقوع قيم المتغير $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ في منطقة القبول على أساس أن الفرض البصفري خاطيء والفرض الآخر $\mu - \mu_0 = 3$ هو الصحيح .

$$\beta = P(3.92 \leq \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \leq - 3.92) \text{ حيث } \bar{x}_1 - \bar{x}_2 : \text{ مع } (2, 3)$$

$$J = \left(\frac{3 - 3,92}{2} \leq \frac{3 - \bar{y}_2 - \bar{y}_1}{2} \leq \frac{3 - 3,92}{2} \right)$$

$$J = (0,46 \leq \epsilon \leq 3,46) = 0,68 \quad \text{من جدول المساحات}$$

وإذن قوة الاختبار عندما $\mu - \mu = 3$ هي $1 - \beta = 0,32$ - انظر الشكل (٧ - ٨).



الشكل (٧ - ٨)

التوزيع الممثل للفرض الصلوى والتوزيع الممثل للفرض الآخر
(مساحة الجزء المظلل تعبر عن الاحتمال β للخطأ من النوع الثاني)

(ثالثاً)

لإيجاد الحد الأعلى لحجم العينة الذى يضمن أن تكون $\beta = 0,10$ نستخدم نفس المعادلة (١) السابق تقديمها وهى :

$$n = \frac{F}{\epsilon - \epsilon_c} = 20$$

ويستلزم الأمر هنا أن تكون العيتان مستقلتين ومن نفس الحجم .

$$\sqrt{\frac{80}{n}} = \sqrt{\frac{0.2}{n}} = 0.2 \text{ لدينا } x$$

$$3 = 0 - 3 = \text{ ف } ,$$

$$ل (ع < ٤) = \frac{\alpha}{4} = 0.025 \text{ لأن الاختبار ذو جانبيين}$$

$$\text{وإذن } \alpha = 1.96$$

$$ل (ع \geq ٤) = \beta = 0.15 \text{ وإذن } \alpha = 1.04$$

$$\therefore 1 = \frac{3}{3} = \frac{3}{(1.04) - 1.96} = \sqrt{\frac{80}{n}}$$

$$\therefore n = 80$$

أى أنه يكفى أخذ عيتين مستقلتين حجم كل منهما ٨٠ لكى نضمن أن تكون

$$\beta = 0.15 \text{ (تحقق من ذلك بأخذ } n = 80 \text{ وإثبات أن } \alpha = 1.96$$

$$\text{و } \alpha = 1.96 \text{ وأن } \beta = 0.1492)$$

(٧ - ٥) حساب قيمة β فى اختبار النسبة :

فى البنود الثلاثة السابقة كنا نتناول الأوساط الحسابية لعينات من مجتمعات

معتدلة أو معتدلة تقريبا . على أن المنطق الذى استخدمناه فى حساب الاحتمال β

للخطأ من النوع الثانى وحساب قوة الاختبار ينطبق على أى مقاييس أخرى . وفى

المثال الآتى نتناول نسبة وقوع حدث ما فى مجتمع ما .

مثال (٧ - ٦) :

بينت الخبرة أن معدل الشفاء من مرض معين بواسطة علاج قياسي ٦٠٪ ابتكر

علاج جديد يظن أنه أفضل من العلاج القياسي . بين كيف تختبر عند مستوى

الدلالة ٠,٠٥ ، ما إذا كان معدل الشفاء بالعلاج الجديد أعلى منه بالعلاج القياسي ، وذلك باستخدام عينة من ١٥ مريضاً بهذا المرض . حدد قوة الاختبار عندما يفترض أن معدل الشفاء بالعلاج الجديد ٧٠٪ .

الحل :

إن جودة العلاج تقاس بقيمة المتغير π الذى يعبر عن عدد المرضى الذين شُفوا فى عينة من الحجم ١٥ . وإذا اعتبرنا أن العينة عشوائية ذات وحدات مستقلة فإن المتغير π يكون له توزيع ذى الحدين دليلاً π ، π حيث $\pi = ١٥$ ، π بaramتر مجهول يعبر عن احتمال الشفاء لأى مريض . راجع البند (٣ - ٣) .

ولبحث أفضلية العلاج الجديد ، علينا أن نقارن بين الفرضين الآتيين :

الفرض الصفري F_0 : $\pi = ٠,٦$ (لا يوجد فرق فى معدل الشفاء بين نوعى العلاج)

الفرض الآخر F_1 : $\pi < ٠,٦$ (اختبار ذو جانب واحد)

إذا كان الفرض الصفري صحيحاً ، يكون للمتغير π توزيع ذو حدين دليلاً $\pi = ١٥$ ، $\pi = ٠,٦$ ويمكننا حينئذ إيجاد توزيع احتمال هذا المتغير بالحساب المعتاد (أى من دالة الكتلة) أو باستخدام الجدول (٣) فى ذيل هذا الكتاب مع أخذ $\pi = ١٥$ ، $\pi = ٠,٦$ فنجد التوزيع الذى ننقله فى الجدول (٧ - ٢) الآتى .

نظراً لأن الاختبار ذو جانب واحد هو الجانب الأيمن فإن منطقة رفض الفرض الصفري هى المنطقة التى يأخذ فيها المتغير π قيمة تزيد عن العدد α حيث $\alpha < ١$ لا تزيد عن $\alpha = ٠,٠٥$ ولإيجاد القيمة الحرجة α التى تحدد التوزيع من اليمين نجرب بضعة قيم مستعينة بالجدول (٧ - ٢) كالآتى :

$$\pi < ١٤ \quad \pi =$$

$$\pi < ١٣ \quad \pi = ٠,٠٠٥$$

$$ل (س < ١٢) = ٠,٠٢٢ + ٠,٠٠٥ = ٠,٠٢٧$$

$$ل (س < ١١) = ٠,٠٦٣ + ٠,٠٢٧ = ٠,٠٩٠$$

وهذا الاحتمال يزيد عن ٠,٠٥

إذن القيمة الحرجة $١ = ١٢$ وتحدد قاعدة الاختبار كالآتي :

« إذا كان عدد المرضى الذين شفوا في عينة من ١٥ مريضاً يزيد عن ١٢ نرفض الفرض الصفري ف. أن $ح = ٠,٦$ عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ وإلا نقبل ف. »

الجدول (٧-٢)

توزيع الاحتمال لمطري ذي حدين : حد (١٥ ، ٠,٦)

س	ل	س	ل
عدد حالات الشفاء	احتمال هذا العدد	عدد حالات الشفاء	احتمال هذا العدد
٠	—	٨	٠,١٧٧
١	—	٩	٠,٢٠٧
٢	—	١٠	٠,١٨٦
٣	٠,٠٠٢	١١	٠,١٢٧
٤	٠,٠٠٧	١٢	٠,٠٦٣
٥	٠,٠٢٤	١٣	٠,٠٢٢
٦	٠,٠٦١	١٤	٠,٠٠٥
٧	٠,١١٨	١٥	—
			٠,٩٩٩

لحساب قوة الاختبار عندما يفترض أن $\pi = 0.7$ نحسب احتمال وقوع قيم المتغير x في منطقة القبول وهي $x \geq 12$ تحت هذا الفرض أى على أساس أن للمتغير x توزيعاً ذا حدين ذيلا ١٥ ، ٠.٧ .

احتمال الخطأ من النوع الثانى $\beta = P(x \geq 12 | \pi = 0.7)$ حيث x : حد (١٥ ، ٠.٧)
 $1 - P(x < 12) =$

من الجدول (٣) بديل هذا الكتاب وبأخذ $x = 15$ و $\pi = 0.7$ نجد أن :

$$\beta = 1 - (0.92 + 0.031 + 0.005) = 1 - 0.956 = 0.044$$

$$= 0.872 = 0.87 \text{ تقريبا}$$

$$\text{وإذن قوة الاختبار} = 1 - \beta = 1 - 0.87 = 0.13$$

ويلاحظ أن قوة الاختبار ضعيفة مما يدعونا إلى الشك في قدرة التجربة على التمييز بين معدى الشفاء في العلاجين القياسى والجديد . وينبغى حينئذ العمل على زيادة هذه القدرة وذلك بزيادة حجم العينة .

حل آخر :

فى هذا المثال يمكننا استخدام تقريب التوزيع المعتدل لتوزيع ذى الحدين — راجع البند (٤ - ٦) مع ملاحظة أن $\pi = 0.7$ $15 \times 0.7 = 10.5 < 5$ كما أن $15 \times 0.3 = 4.5 < 5$ ، ويقترب توزيع ذى الحدين حد (١٥ ، ٠.٦) من توزيع معتدل متوسطه $\mu = \pi = 0.7$ وانحرافه المعياري $\sigma = \sqrt{\pi(1-\pi)} = \sqrt{0.7 \times 0.3} = \sqrt{0.21} = 0.458$ وبالتالى يكون للمتغير

$$z = \frac{x - (\pi - 0.5)}{0.458} =$$

بالتقريب توزيع معتدل معيارى : مع (٠ ، ١) .

لإيجاد القيمة الحرجة لدينا :

$$J = (S < 1) = J(E) < \frac{9 - (0,5 - 1)}{1,897} = 0,05 \text{ فرضا}$$

من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى نجد أن

$$1,64 = \frac{9,5 - 1}{1,897} \quad \text{ومنها } 12,611 = 1$$

واذن نرفض الفرض الصفري أن $H = 0,6$ عند مستوى الدلالة $0,05$ إذا كان عدد المرضى الذين شفوا في عينة من 15 مريضاً يزيد عن 12. وهذه هي النتيجة التي توصلنا إليها بالحل الأول. كذلك :

$$\beta = J(S \geq 12) \quad \text{حيث } H = (0,7, 15) \text{ حد}$$

$$\text{وبالتقريب بتوزيع معتدل وسطه الحسابى } H = 0,7 \times 15 = 10,5$$

$$\text{وانحرافه المعيارى } \sigma = \sqrt{H(1-H)} = \sqrt{0,7 \times 0,3 \times 15} = 1,7748$$

نجد أن :

$$\beta = J(S \geq 12) = J(E) \geq \frac{(10,5 - (0,5 + 12))}{1,7748}$$

$$J = (12 \geq S) = 0,8708 = 0,87 \text{ تقريبا}$$

$$0,13 = 0,87 - 1 = 0,13$$

تمارين (٧)

(١) أخذت عينة عشوائية حجمها $n = 5$ من مجتمع معتدل تباينه $15,21$.

بين كيف تختبر عند مستوى الدلالة $0,05$ الفرض الصفري أن متوسط المجتمع

$\mu = 45,5$ ضد الفرض $\mu \neq 45,5$. أوجد قوة الاختبار عندما نفترض أن

$$\mu = 54.$$

الفصل الثامن

تحليل التباين وتصميم التجارب

ANALYSIS OF VARIANCE & DESIGN OF EXPERIMENTS

(٨ - ١) التحليل الإحصائي وتصميم التجارب :

يميل بعض الباحثين التجريبيين إلى تصميم تجاربهم وتنفيذها ، وبعد الانتهاء من الحصول على بيانات ينظرون في تحليل هذه البيانات إحصائياً . وهذا خطأ كبير لأن إغفال الجانب الإحصائي أثناء وضع التصميم غالباً ما يؤدي إلى اختيار تصميم خاطيء لا تستخلص منه أية نتائج يعتد بها . وعلى العكس من ذلك ، إذا أخذ الجانب الإحصائي بعين الاعتبار ، فإنه لا يعاون فقط على تحليل البيانات تحليلاً علمياً سليماً بل يسهم بشكل أساسي في اختيار التصميم الأكثر كفاءة أى الذى يعطى أكبر قدر من المعلومات والنتائج بأدنى حد من الجهد التجريبي ، وهو بالإضافة إلى ذلك يقلل من مصادر أخطاء التجريب ويوضح طريقة تقدير هذه الأخطاء . فخطوة التحليل الإحصائي هي جزء رئيسي من تصميم التجربة . وتقتضي هذه الخطوة مراعاة عدة مبادئ لعل أهمها ما يلي :

RANDOMNESS

(أولاً) العشوائية :

إن التقنية الإحصائية للتجريب تقتضي تطبيق مبدأ العشوائية في كل ما يتعلق بالتجربة منعاً لأى تحيز من أى نوع ، وكوسيلة للتصدى لمجموعة العوامل الثانوية

التي نعجز عن حصرها أو حساب التأثير الطفيف الذي يحدثه كل منها وبالتالي نعجز عن التحكم فيها تجريبياً .

(أ) فالعينة التي تختار من المجتمع ينبغي أن تكون عشوائية ، فتكون مسحوبة بحسب خطة تضمن عدم وجود تحيز من أى نوع قد يؤثر في عملية الاختيار .

(ب) وإذا قسمت هذه العينة إلى أقسام لتطبيق أنواع مختلفة من المعالجات على هذه الأقسام ينبغي أن يكون هذا التقسيم عشوائياً لكي يتوفر لكل وحدة من وحدات العينة نفس الفرصة لتلقي أى من هذه الأنواع .

(ج) كما أن توزيع نوع ما لمعالجة ما على وحدات قسم ما ينبغي أن يكون عشوائياً خاصة من حيث الترتيب الزمني .

وبالنسبة لتقسيم العينة هناك طرق تكفل عشوائية هذا التقسيم ، ومن هذه الطرق ما يلي .

(١) رمى قطعة معدنية من العملة :

نفرض مثلاً أننا نريد تقسيم ٢٠ حشرة إلى ٤ أقسام يحتوى كل منها على ٥ حشرات لكي تتلقي الحشرات التي تدخل في قسم ما واحداً من ٤ معالجات مختلفة ا ، ب ، ح ، د ، هـ . نرقم الحشرات من ١ إلى ٢٠ . نأخذ كل حشرة على حدة ونرمى قطعة منتظمة من العملة مرتين عشوائياً (أو نلقي قطعتين متميزتين من العملة مرة واحدة) . نحدد القسم الذى تدخل فيه الحشرة بحسب خطة كالاتية :

الرمية الأولى	الرمية الثانية	القسم (المعالجة)
صورة	صورة	ا
صورة	كتابة	ب
كتابة	صورة	ح
كتابة	كتابة	د

فإذا أخذنا الحشرة رقم (١) وظهرت كتابة في الرمية الأولى وصورة في الرمية الثانية فإن هذه الحشرة تدخل القسم حـ أى تتلقى المعالجة حـ وهكذا بالنسبة للحشرات جميعاً . وإذا حدث أن امتلأ أحد الأقسام (بخمسة حشرات) وجاءت رمية لهذا القسم نلغى هذه الرمية ونعيد الرمي . إن هذه الخطة تكفل أن تكون النواتج الممكنة من رمي العملة مرتين وهى (صورة ، صورة) و(صورة ، كتابة) و(كتابة ، صورة) و(كتابة ، كتابة) متساوية الاحتمال إذ من الواضح أن احتمال كل منها يساوى $\frac{1}{4}$ بشرط أن تكون العملة منتظمة والرمي عشوائياً . وبهذا يكون لكل حشرة نفس الفرصة لتلقى أى من المعالجات الأربع . وهذا يعنى توفر شرط عشوائية التقسيم . نلاحظ أنه بالنسبة للحشرة الأخيرة لا نكون بحاجة إلى رمي قطعة العملة .

(٢) رمي حجرة نرد :

في المثال السابق يمكن أن نستخدم خطة أخرى كالآتية :
نرمي حجرة نرد منتظمة عشوائياً . إذا ظهرت نقطة واحدة ندخل الحشرة في القسم ١ وإذا ظهرت نقطتان ندخلها في القسم ب وإذا ظهرت ٣ نقط ندخلها في القسم ح وإذا ظهرت ٤ نقط ندخلها في القسم د . أما إذا ظهرت ٥ أو ٦ نقط فلا تحسب ويعاد الرمي . نلاحظ هنا أيضاً أن النواتج الستة متساوية الاحتمال فاحتمال كل منها يساوى $\frac{1}{6}$.

(٣) استخدام ورق اللعب :

حين يكون عدد الأقسام المطلوبة كبيراً يحسن استخدام ورق اللعب . نفرض أننا نريد تقسيم ٦٠ حشرة إلى ١٢ قسماً يحتوى كل منها على ٥ حشرات لكى تتلقى الحشرات التى تدخل فى قسم ما واحداً من ١٢ معالجة مختلفة . نستخدم مجموعة من ورق اللعب بعد استبعاد الملوك الأربعة فيكون لدينا ٤٨ ورقة . نحدد خطة كالآتية :

الواحد للقسم الأول والاثني عشر للقسم الثاني ، ... ، ... والعشرة للقسم العاشر والولد للقسم الحادى عشر والبت للقسم الثاني عشر . تأخذ كل حشرة على حدة ونخلط الورق جيداً ثم نقطعه عشوائياً فيكون العدد المقطوع هو الذى يحدد القسم الذى تدخل فيه الحشرة . نلاحظ أن احتمال ظهور أى من الحالات الاثني عشر يساوى $\frac{1}{12} = \frac{1}{12}$.

إن الطرق سابقة الذكر هى مجرد أمثلة على طرق التقسيم العشوائى ويمكن للباحث على ضوء هذه الأمثلة أن يبتدع طرقاً أخرى كثيرة ، وذلك إضافة إلى إمكانية استخدام جداول الأعداد العشوائية المشار إليها بالبند (١ - ٢) .

INDEPENDENCE : (ثانيا) الاستقلال :

يفتضى التحليل الإحصائى ، خاصة في تحليل التباين ، افتراض استقلال أخطاء التجريب عن بعضها واستقلال المعالجات عن أخطاء التجريب ، فإذا كانت الأخطاء الكبيرة مثلاً مرتبطة بمعالجة معينة فإن استخدام تقدير شامل لخطأ التجريب ، وهو الإجراء المتبع عادة ، لا يكون إجراء سليماً يعتمد عليه في اختبارات الدلالة . على أن تطبيق مبدأ العشوائية سابق الذكر يضمن إلى حد كبير تحقيق هذا الافتراض . كما يسهم في تحقيقه استخدام مجموعات من المشاهدات (مأخوذة من سلسلة من التجارب) بدلا من استخدام مجموعة واحدة من المشاهدات .

STATISTICAL MODEL : (ثالثا) النموذج الإحصائى :

كما يفترض التحليل الإحصائى وضع نموذج يرشدنا إلى الأسس الإحصائية التى تحدد أسلوب هذا التحليل ، وتنعكس حدوده تأثيرات العوامل أو المتغيرات التى تدخل في التجريب . وترتبط بكل نموذج افتراضات خاصة تتعلق بتوزيعات هذه المتغيرات أو باستقلالها أو بالصورة الرياضية التى يأخذها النموذج لوصف وحدات التجريب ... وكلما كان النموذج ناجحاً في تصوير التجربة الفعلية كلما كانت النتائج التى نحصل عليها من تحليل البيانات أكثر صدقاً .

(رابعاً) مسائل أخرى :

- ينبغي أن يجيب تصميم التجربة على تساؤلات عدة منها :
- (أ) ما هو الحجم المناسب للعينة ؟
- (ب) متى يتعين تكرير التجربة برمتها ؟
- (ج) متى نحتاج إلى إدخال مجموعة مراقبة ؟ control group
- (د) ما الطريقة العملية لتطبيق مبدأ العشوائية ؟
- (هـ) ما مدى الدقة والضبط اللازمين في عملية القياس ؟

(٨ - ٢) تحليل التباين :

كثيراً ما نلاحظ وجود اختلاف في قيم متغير ما لا نعرف سببه أو مصدره ولا نستطيع التحكم فيه . ومن أمثلة ذلك الاختلاف المشاهد في الزيادة الشهرية في أوزان مجموعة من الماشية حتى لو وضعت في ظروف واحدة وتحت نظام غذائي مشترك ، كذلك الاختلاف المشاهد في نمو وحدات نبات مزروع في حقل تحت نفس الظروف ... إن مثل هذا الاختلاف نصفه بأنه اختلاف عشوائي .

على أننا في كثير من التجارب ندخل سبباً إضافياً للاختلاف في قيم المتغير نعلم مصدره ، فمثلاً قد نقسم مجموعة الماشية إلى عدة أقسام يتلقى كل منها نظاماً مختلفاً للتغذية ، أو قد يقسم الحقل إلى عدة أحواض يتلقى كل منها نوعاً مختلفاً من الخصبات أو طرقاً مختلفة للرى ونقول حينئذ أننا أدخلنا عاملاً factor معيناً في التجربة . والعامل هو متغير نوعي يتألف من عدد من المعالجات treatments أو التقسيمات المرتبطة تسمى مستويات العامل levels فالعامل « نظام التغذية » قد يتكون من ٤ مستويات والعامل « نوع الخصب » قد يتكون من ٣ مستويات وهكذا ..

ومن الواضح أن الهدف من إدخال العامل معرفة ما إذا كانت المستويات المختلفة (لنظام التغذية مثلاً) تحدث تأثيرات مختلفة في قيم المتغير (الزيادة في الوزن)

وهذا هو الغرض الذى تستخدم من أجله عملية تحليل التباين . وتؤسس هذه العملية على تصميم تجربة تمكننا من أن نفصل الاختلاف الذى سببه العامل عن الاختلاف العشوائى ، فإذا ظهر لنا أن ذلك الاختلاف جوهرى حكمنا بأن عامل التقسيم هو عامل مؤثر في قيم المتغير وتصدينا بعد ذلك للمقارنة بين مستويات هذا العامل .

فتحليل التباين هو عملية نستطيع بواسطتها أن نحلل الاختلاف الكلى المشاهد في مجموعة من البيانات إلى مركبتين أو أكثر يرجع كل منها إلى عامل أو مصدر مستقل ، وإذا كانت هذه البيانات من عينة عشوائية مأخوذة من مجتمع معتدل ذى تباين معين فإن كلا من هذه المركبات يعطى تقديراً مستقلاً لهذا التباين ، والتقديرات الناتجة يمكن اختبار تجانسها بواسطة اختبار ف .

وفي التجارب التى نبحث فيها تأثير عامل واحد - كما في الأمثلة سابقة الذكر - يحلل الاختلاف الكلى إلى مركبتين مستقلتين إحداهما تناظر هذا العامل والأخرى تناظر الاختلاف العشوائى . وفي التجارب التى نبحث فيها تأثير عاملين مستقلين ، مثلاً نوع الغذاء كأحد العاملين وكمية الغذاء كعامل ثان ، نحلل الاختلاف الكلى إلى ثلاث مركبات مستقلة اثنتان منهما تناظران العاملين والثالثة تناظر الاختلاف العشوائى ، وهكذا في حالة وجود أكثر من عاملين .

وفي بحثنا عن كيفية تحليل التباين نحتاج إلى المصطلحات والتعاريف المبينة في البند التالى .

(٨ - ٣) مصطلحات وتعريف :

(١) مجموع المربعات (\sum^2) :

SUM OF SQUARES (SS)

إذا كان لدينا مجموعة من القيم y_1, y_2, \dots, y_n فإن مجموع مربعات

انحرافات هذه القيم عن وسطها الحسابي \bar{x} يسمى اختصاراً بمجموع المربعات ونرمز له بالرمز $\sum x^2$ ، أى أن :

$$\sum x^2 = \sum (x - \bar{x})^2 + n\bar{x}^2$$

$$\sum x^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad \text{حيث } \sum x = \sum (x - \bar{x}) = 0$$

ويتخذ $\sum x^2$ كمقياس للاختلاف variation في هذه القيم . ويلاحظ أن قيمة $\sum x^2$ لا تتغير إذا جمعنا أو طرحنا عدداً ثابتاً من جميع القيم .

(ب) درجات الحرية (r) أو (د.ح)

DEGREES OF FREEDOM

يستخدم مصطلح « درجات الحرية » في الإحصاء التطبيقي للتعبير عن عدد المقادير المستقلة خطياً في مجموع المربعات . فمثلاً القيم $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ هي n من المقادير المستقلة ولكن نظراً لأن $\sum (x_i - \bar{x}) = 0$ فإن المقادير $(x_1 - \bar{x}), (x_2 - \bar{x}), \dots, (x_n - \bar{x})$ لا تكون مستقلة خطياً لأنه يمكن اشتقاق واحد منها من الآخرين ولذلك يكون لمجموع مربعاتها $\sum (x_i - \bar{x})^2$ درجات حرية عددها $n - 1$.

كقاعدة عامة ، يحسب عدد درجات الحرية لإحصاء ما كالآتي :

= عدد المشاهدات المستقلة المسببة للاختلاف - عدد البارامترات المستقلة التي قدرت من العينة عند حساب هذا الاختلاف .

وفي تحليل التباين نستخدم التعريف الإجرائي الآتي لدرجات الحرية لأى مصدر من مصادر الاختلاف .

= عدد الانحرافات المربعة - عدد النقط (المحاور) المستقلة التي أخذت حولها هذه الانحرافات . (يلاحظ أن عدد النقط أو المحاور هذه هي عدد القيود الخطية التي فرضت على تقدير الاختلاف) .

(ح) متوسط المربعات (ع^٢) أو (ط^٢) MEAN SQUARE (MS)

هو خارخ قسمة مجموع المربعات على عدد درجات الحرية أى
ع^٢ = م / ل و يسمى هذا بالتباين ، غير أن التعبير متوسط المربعات هو تعبير أكثر
عمومية .

(٨ - ٤) التجارب ذوات العامل الواحد :

SINGLE FACTOR EXPERIMENTS

في هذه التجارب يكون اهتمامنا منصبا على دراسة عامل واحد فقط ، وليكن
نظام التغذية ، من حيث تأثيره على متغير ما وليكن الزيادة في وزن نوع من البقر
في مدة ما . ولا يغرب عن بالنا هنا إمكانية وجود مصادر أو عوامل أخرى ذات
تأثير على هذا المتغير مثل عمر البقر وجنسه ووزنه الأصلي .. ولذلك ينبغي أن
نعمل على تمييز تأثير هذه العوامل ومنع تداخل هذا التأثير مع التأثير الذى يحدده
العامل الذى ندرسه .

ولتحقيق هذا الغرض يلجأ بعض الباحثين إلى تصميم تجربة يتحكم فيها تحكما
كاملا في هذه العوامل فيقوم بتثبيتها عند مستويات محددة فيختار مجموعة من البقر
في نفس العمر ومن نفس الجنس ونفس الوزن .. ويسمح فقط بتغيير عامل التغذية
وذلك بتقسيم مجموعة البقر إلى عدة أقسام ومعالجة كل قسم بواحد من مستويات
نظام التغذية ، وبهذا يخل مسؤلية أى من تلك العوامل مما قد يظهر من فروق
جوهرية بين هذه المستويات . غير أن النتائج التى تسفر عنها هذه الطريقة تكون
مشروطة بتوفر الظروف الخاصة التى هيئت لها التجربة من حيث العمر والجنس
والوزن .. وقد لا تكون هذه النتائج صحيحة إذا ما تغير أى من هذه الظروف ،
وبالتالى لا تعطى التجربة قدرا كافيا من المعلومات التى ينشدها الباحث . ومن
ناحية أخرى من الصعب عمليا بل ومن المستحيل أحيانا التحكم في التجربة وضبط
تلك العوامل الخارجية عند مستوى مشترك بالدقة الكافية .

ولذلك يفضل الباحثون تصميم تجربة على النقيض من ذلك ، فبدلاً من أن نتحكم في العوامل الخارجية بوضعها عند مستويات خاصة ، نقوم بتعشية هذه العوامل بحيث يكون لكل مستوى من مستويات العامل الذى ندرسه نفس الفرصة للتعرض لها ، وبهذا يحق لنا ضم تأثير هذه العوامل تحت كلمة عامة هى الاختلاف العشوائى أو خطأ التجريب أو الصدفة . فإذا كان لدينا ٢٨ بقرة و ٤ مستويات من نظام التغذية نرقم البقر من ١ إلى ٢٨ بصرف النظر عن العمر والجنس والوزن لتقسيم البقر عشوائياً إلى ٤ أقسام يحتوى كل منها على ٧ بقرات لتتلقى واحداً من مستويات نظام التغذية . إن مثل هذا التصميم يسمى بالتصميم كامل التعشية completely randomized design وهو ذلك التصميم الذى يبنى لا على أساس التحكم في المصادر الخارجية وإنما على أساس تعشية هذه المصادر بحيث يمكن ضم الاختلافات الناشئة عنها تحت اسم الاختلاف العشوائى .

على أن طريقة التعشية في الحماية من تأثير العوامل الخارجية هى عملية مبنية على أساس احتمالى ، فقد تسفر هذه الطريقة عن أن يشتمل أحد الأقسام على ٧ بقرات كلها من الإناث أو كلها من صغار السن - وإن كان هذا أمراً بعيد الاحتمال - وهذا أحد الأسباب التى تجعل بعض الباحثين يميل إلى استخدام تصميم وسط بين النقيضين المذكورين وذلك بالتحكم في بعض العوامل وتعشية البعض الآخر . وسنعود إلى هذا الموضوع في البند (٨ - ٧) تحت عنوان المقارنات التزاوجية.

اعتبر عينة عشوائية حجمها n مأخوذة من متغير معدل μ وسطه الحسابى μ وتباينه σ^2 . افرض أن هذه العينة قسمت عشوائياً إلى k من الأقسام تلقت كل منها واحداً من مستويات عامل ما (نظام الغذاء - نوع المخصب - طريقة الري - ...) وجاءت البيانات كما يلي ، حيث سيمرر ترمز إلى قيم المتغير الذى ندرسه (مقدار المحصول مثلاً) ، وحيث r ، q ترمزان على الترتيب إلى رقم الصف ورقم العمود الذى تقع فيه القيمة y_{rq} .

الأقسام (المعالجات)							
(١)	(٢)	(٣)	...	(ق)	...	(ك)	
س _{١١}	س _{٢١}	س _{٣١}	...	...	...	س _{١ك}	
س _{١٢}	س _{٢٢}	س _{٣٢}	...	...	...	س _{٢ك}	
س _{١٣}	س _{٢٣}	س _{٣٣}	...	...	...	س _{٣ك}	
...	
...	
س _{١ر}	س _{٢ر}	س _{٣ر}	...	س _{رق}	...	س _{رك}	
...	
س _{١٥}	س _{٢٥}	س _{٣٥}	...	...	...	س _{٥ك}	
ن _١	ن _٢	ن _٣	...	ن _ق	...	ن _ك	ن = محن
م _١	م _٢	م _٣	...	م _ق	...	م _ك	م = محم
س _١	س _٢	س _٣	...	س _ق	...	س _ك	س = محم/ن

ن. ترمز إلى عدد قيم المتغير في القسم و (ق = ١ ، ٢ ، ... ، ك)

، ن ترمز إلى العدد الكلي لقيم المتغير

، م ترمز إلى مجموع قيم المتغير في القسم و

، س ترمز إلى متوسط قيم المتغير في القسم و ، س ترمز إلى المتوسط العام.

المطلوب بحث ما إذا كان المجتمع متجانساً بالنسبة لهذا التقسيم أى ما إذا كانت

مستويات هذا العامل تحدث تأثيرات متساوية في قيم المتغير س .

(٨ - ٤ - ١) النموذج الإحصائي (النموذج I) :

كما سبق القول يعتمد التحليل الإحصائي على اختيار نموذج يعبر عن تركيب أى عنصر مشاهد فى التجربة ويبرر ما يجرى من عمليات مصحوباً بافتراضات يقتضيها البناء الرياضى الذى تقوم عليه عملية التحليل . وسنفترض هنا ما يلي :

(١) المجتمع العام الذى أخذت منه وحدات التجريب هو مجتمع معتدل وسطه الحسابى μ وتباينه σ^2 .

(٢) مجموعات الوحدات فى الأقسام ١ ، ٢ ، ... ، ك التى تلقت مستويات مختلفة من عامل التجريب تشكل عينات عشوائية مستقلة مأخوذة من ك من المجتمعات المعتدلة أوساطها الحسابية μ_1 ، μ_2 ، ... ، μ_K ولها تباين مشترك σ^2 ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_K^2$) .

(٣) أى وحدة مشاهدة y_{ijk} تخضع للنموذج الخطى الآتى :

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (١)$$

حيث μ هو الوسط الحسابى لمجتمع القسم ϵ ($\epsilon = 1, 2, \dots, K$) .
 $\alpha_i = y_{i..} - \mu$ هو خطأ التجريب بالنسبة للوحدة $y_{i..}$ التى فى الصف i والعمود (القسم) ϵ أى أن قيم α_i تعبر عن الفروق العشوائية بين الوحدات داخل القسم ϵ ، وسنفترض أنه فى مجتمع القيم α_i تكون هذه القيم مستقلة ويكون هذا المجتمع معتدلاً وسطه الحسابى صفر وتباينه σ^2 .

ومن المعتاد أن يكتب النموذج (١) كالآتى :

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (٢)$$

حيث $\alpha_i = y_{i..} - \mu$ = انحراف متوسط مجتمع القسم ϵ عن متوسط المجتمع العام ، وهذا الرمز يصلح للتعبير عن متوسط أثر المستوى ϵ لعامل التقسيم .

وسنعتبر أن هذا الأثر ثابت لكل وحدة بالقسم ق وأنه يختلف من قسم إلى آخر ، بمعنى أن كل عنصر من عناصر القسم الأول يتأثر (بالزيادة أو النقصان) بمقدار ثابت α ، وكل عنصر من عناصر القسم الثاني يتأثر بمقدار ثابت α ، وهكذا ... ولذلك يسمى هذا النموذج بالنموذج ثابت التأثيرات fixed effects model تمييزاً له عن النموذج عشوائى التأثيرات random effects model حيث لا تتأثر عناصر الأقسام بمقادير ثابتة بل بمقادير عشوائية . وسوف نتناول هذا النموذج فى البند (٨ - ١٤) .

إن هذا النموذج هو الأساس الذى يبنى عليه التحليل ، فهو أولاً يفترض أن أى قيمة مشاهدة y_{ij} يمكن تجزئتها إلى مركبات تعزى إلى مصادر منطقية متميزة نتيبها كالآتى :

من (٢) : $y_{ij} = \mu + (\mu_j - \mu) + (\bar{y}_{i.} - \mu_j)$ (٣)
ومن هذه الصيغة نرى أن $\bar{y}_{i.}$ وهى القيمة المشاهدة فى الصف i من القسم j تساوى المتوسط العام للمجتمع + تأثير يرجع إلى المعالجة التى تلقتها وحدات القسم j + تأثير عشوائى داخل القسم j .

كما أن هذا النموذج يحدد العلاقة بين الاختلافات الناشئة عن مختلف المصادر أو العوامل المؤثرة فى عملية التجريب :

من (٣) : $y_{ij} - \mu = (\mu_j - \mu) + (\bar{y}_{i.} - \mu_j)$
أو $(y_{ij} - \bar{y}_{i.}) = (\bar{y}_{i.} - \mu_j) + (\mu_j - \mu)$ (٤)
وذلك بوضع المتوسطات $\bar{y}_{i.}$ ، الناتجة فى العينة بدلا من المتوسطات النظرية المجهولة μ_j ، μ . بتربيع كل من الطرفين والجمع على جميع قيم i, j ، ينتج المتطابقة الآتية :

$$\sum_j \sum_i (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = \sum_j \sum_i (\bar{y}_{i.} - \mu_j)^2 + \sum_j \sum_i (\mu_j - \mu)^2 \quad (٥)$$

من هذا نحصل على متوسط المربعات لكل من المركبتين كآلاتي :

$$\bar{E}^2 = \frac{22}{2} (\text{بين الأقسام}) / (ك - 1)$$

$$\bar{E}^2 = \frac{22}{2} (\text{داخل الأقسام}) / (ن - ك)$$

تحت الفروض سابقة الذكر نستطيع أن نثبت رياضياً أن \bar{E}^2 ، \bar{E}^2 هما تقديران مستقلان لتباين المجتمع σ^2 . غير أن التقدير الثاني (\bar{E}^2) هو تقدير غير متحيز لتباين المجتمع بمعنى أن متوسط مثل هذه التقديرات يكون على المدى البعيد مساوياً للتباين σ^2 ، أما التقدير الأول (\bar{E}^2) فهو تقدير متحيز للتباين σ^2 إذ أن متوسط مثل هذه التقديرات على المدى البعيد $\sigma^2 + \frac{1}{k-1} \sum (\mu_i - \mu)^2$ أى يزيد عنه ولا يكون مساوياً له إلا إذا كانت المتوسطات μ_1 ، μ_2 ، μ_3 ، μ_4 ، μ_5 متساوية جميعاً . وعلى ذلك فإن أى فرق جوهري بين التقديرين \bar{E}^2 ، \bar{E}^2 لا ينتج إلا من وجود فرق جوهري بين هذه المتوسطات .

(٨ - ٤ - ٢) اختبار تجانس المجتمع بالنسبة لعامل التقسيم :

إن الفرض الصفري هو أن المجتمع متجانس بالنسبة لعامل التقسيم وهذا يتضمن أن يكون للمجتمعات المعندلة للأقسام نفس الخواص الإحصائية ، وبصفة خاصة :

$$\sigma^2 = \sigma^2 = \sigma^2 = \sigma^2 = \sigma^2 ، \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

وإذا كان هذا الفرض صحيحاً ، ونظراً لأن \bar{E}^2 ، \bar{E}^2 هما تقديران مستقلان للتباين σ^2 مجتمع معتدل فإن نسبة التباين

$$F = \frac{\bar{E}^2}{\bar{E}^2} \quad (٦)$$

يكون توزيعها مطابقاً لتوزيع المتغير ف بلدرجتي حرية (ك - ١ ، ن - ك) - راجع البند (٦ - ٨) . وعلى ذلك يمكن استخدام اختبار ف للحكم على هذا التجانس وبالتالي للحكم على تساوى تلك المتوسطات .

أما الفرض الآخر ف، فهو أن الاختلاف الناشيء عن عامل التقسيم (بين المتوسطات) أكبر مما نتوقعه من اختلاف عشوائي في عينة من مجتمع متجانس بالنسبة لعامل التقسيم ، ولذلك فإن هذا الاختبار يكون دائماً ذا جانب واحد .

(٨ - ٤ - ٣) طريقة مختصرة لحساب الاختلاف :

لتسهيل حساب القيم العددية لمجاميع المربعات الثلاثة المبينة بالمتطابقة (٥) نستخدم الصيغ الآتية التي يمكن برهنتها رياضياً .

$$(١) \quad \text{مجموع المربعات} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad \text{حيث } \sum_{i=1}^n x_i = n - ١$$

$$(٢) \quad \text{مجموع مربعات الأقسام} = \sum_{j=1}^k \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n_j} - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad \text{حيث } \sum_{j=1}^k n_j = n - k$$

$$(٣) \quad \text{مجموع مربعات داخل الأقسام} = (٢) - (١) \quad \text{حيث } \sum_{j=1}^k n_j = n - k$$

وتوضع هذه القيم عادة في جدول يسمى بجدول التباين يأخذ الصورة الآتية :

الجدول (٨ - ٢)

جدول التباين للتجارب ذوات العامل الواحد

مصدر التباين	م.م	د ح	تقدير التباين	ف.م
بين الأقسام	(٢)	ك - ١	$\frac{\sum_{j=1}^k x_{ij}^2}{n_j}$	$\frac{\sum_{j=1}^k x_{ij}^2}{n_j} - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}$
داخل الأقسام	(٢) - (١)	ن - ك	$\sum_{i=1}^n x_i^2$	
المجموع	(١)	ن - ١		

ملاحظة (١) :

يفضل أن تكون حجوم العينات في الأقسام المختلفة متساوية أى $n_1 = n_2 = \dots = n_p$.
 أمثلاً لأنه في هذه الحالة لا يكون تحليل التباين حساساً للانحرافات الصغيرة عن فرض تساوى التباينات في مجتمعات الأقسام . هذا بالإضافة إلى تسهيل حساب مجاميع المربعات بين الأقسام حيث تكتب كما يلي :

$$S^2_{\text{بين الأقسام}} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{n_j} y_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{n_j} y_{ij})^2}{n^2}$$

ملاحظة (٢) :

لا تتأثر نتائج تحليل التباين بأي حال إذا جمعنا أو طرحنا عدداً ثابتاً من جميع قيم وحدات التجريب .

مثال (٨ - ١) :

البيانات التى بالجدول (٨ - ٣) نتجت عن تجربة في فسيولوجيا النبات ، وهى تعطى الطول (بوحدات شفرية) لمقاطع من نبات البسلة تركت لتنمو في مزرعة نسيجية في وجود هرمون الأوكسين ، وكان الهدف من التجربة اختبار تأثير إضافة أربعة أنواع من السكريات على النمو مقاساً بواسطة الطول .

(على فرض أن مبادئ العشوائية والاعتدالية قد روعيت في إجراء التجربة .)

الحل :

الفرض الصفري F_0 هو أن المجتمع (المعتدل) الذى أخذت منه العينة متجانس بالنسبة لعامل التقسيم (نوع السكر) أى أن $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$. والفرض الآخر F_1 هو : على الأقل اثنان من المتوسطات غير متساويين .

جدول (٨ - ٣)

المعالجات					
(٥)	(٤)	(٣)	(٢)	(١)	
مراقبة	%٢+ جلوكونز %١+ فركوز %٢+ سكروز				
	%١+ فركوز				
٧٥	٦٢	٥٨	٥٨	٥٧	
٦٧	٦٦	٥٩	٦١	٥٨	
٧٠	٦٥	٥٨	٥٦	٦٠	
٧٥	٦٣	٦١	٥٨	٥٩	
٦٥	٦٤	٥٧	٥٧	٦٢	
٧١	٦٢	٥٦	٥٦	٦٠	
٦٧	٦٥	٥٨	٦١	٦٠	
٦٧	٦٥	٥٧	٦٠	٥٧	
٧٦	٦٢	٥٧	٥٧	٥٩	
٦٨	٦٧	٥٩	٥٨	٦١	
٥٠ = \bar{u}	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠
$٣٠٩٧ = \bar{r}$	٧٠,١	٦٤,١	٥٨,٠	٥٨,٢	٥٩,٣
$٦١,٩٤ = \bar{m}$	٧٠,١	٦٤,١	٥٨	٥٨,٢	٥٩,٣

$${}^2_{٥٨} + \dots + {}^2_{٦١} + {}^2_{٥٨} + \dots + {}^2_{٥٨} + {}^2_{٥٧} = (\text{الكل})$$

$${}^2_{٦٨} + \dots + {}^2_{٦٧} + {}^2_{٧٥} + \dots + {}^2_{٦٦} + {}^2_{٦٢} + \dots + {}^2_{٥٩} +$$

$$- \frac{{}^2_{(٣٠٩٧)}}{٥٠}$$

$$١٣٢٢,٨٢ = ١٩١٨٢٨,١٨ - ١٩٣١٥١ =$$

$$\text{حيث } \bar{r} = ١ - \bar{u} = ٤٩$$

$$\frac{1}{50}(30.97) - \frac{1}{10}(70.1) + \dots + \frac{1}{10}(582) + \frac{1}{10}(593) = (\text{بين الأقسام})$$

$$1077,32 = 191828,18 - 192905,50 =$$

$$\text{حيث } \gamma = 1 - \epsilon =$$

$$245,50 = 1077,32 - 1322,82 = (\text{داخل الأقسام})$$

$$\text{حيث } \gamma = \eta - \epsilon = 45$$

نضم هذه النتائج في جدول التباين الآتي :

جدول (٨ - ٤)

مصدر الاختلاف	مجموع المربعات	درجات الحرية	تقدير التباين	ف.ح.
بين الأقسام (المعالجات)	1077,32	٤	٢٦٩,٣٣	٤٩,٣٣
داخل الأقسام (خطأ التجريب)	245,50	٤٥	٥,٤٦	
المجموع	1322,82	٤٩		

من جدول ف ، وعند درجتى الحرية ٤ ، ٤٥ نجد أن :

$$ف_{0,05} = 2,58 ، ف_{0,01} = 3,77 ، ف_{0,001} = 5,57$$

الاستنتاج :

نظرا لأن ف.ح. = ٤٩,٣٣ أكبر بكثير من أى من هذه القيم فإننا نرفض الفرض الصفري عند مستوى عالى من الدلالة ونحكم بأن الأنواع المختلفة من السكريات ليست متساوية في تأثيرها على نمو مقاطع نبات البسلة .

ملاحظة (٣) :

في نسبة التباين ف نضع ϵ^2 دائماً في البسط و ϵ^2 في المقام وإذا حدث أن كانت ϵ^2 أصغر من ϵ^2 أى كانت $F > 1$ نقبل الفرض الصفري فوراً دون حاجة إلى إيجاد أى قيمة حرجة من الجدول لأن جميع هذه القيم أكبر من الواحد حين تزيد كل من درجتي الحرية عن الواحد .

ملاحظة (٤) :

حين يكون عدد الأقسام $k = 2$ تكون نتيجة تحليل التباين مطابقة للنتيجة التي نحصل عليها باستخدام اختبار t وتكون $F(1, n-1) = t^2(n-1)$. ولذلك يمكن أن نعتبر أن اختبار t للفرق بين متوسطي مجتمعين معتدلين هو حالة خاصة من اختبار F .

(٨ - ٥) المقارنة بين المتوسطات :

في البند السابق أجرينا تحليلاً للتباين للمشاهد في البيانات التي أسفرت عنها التجربة ، غير أن هذا التحليل ليس إلا الخطوة الأولى لدراسة نتائج التجربة وينبغي أن يستكمل بإجراء مقارنات بين بعض أزواج هذه المتوسطات أو بين مجموعات منها . ودراسة هذه المقارنات قد يكون أكثر أهمية من التحليل العام . وهناك نوعان من المقارنات هما :

A priori (or planned) comparisons (أ) المقارنات القبلية

A postiori (or unplanned) comparisons (ب) المقارنات البعدية

ولعل سبب التمييز بين هذين النوعين هو اختلاف اختبارات الدلالة فيهما . كما سيتبين بعد .

(٨ - ٥ - ١) الاختبارات القبلية :

هي تلك الاختبارات التي كان مخططاً لها أثناء تصميم التجربة (وقبل إجرائها) . ففي المثال (٨ - ١) كان مخططاً لاختبار تأثير إضافة السكريات ضد مجموعة المراقبة ، كما كان مخططاً لاختبار ما إذا كانت السكريات النقية ككل (جلوكوز - فركتوز - سكروز) تختلف في تأثيرها عن السكريات المختلطة (١٪ جلوكوز + ١٪ فركتوز) .

إن مثل هذه الاختبارات تجرى بصرف النظر عن النتيجة العامة لتحليل التباين أى سواء رفضنا أو قبلنا الفرض الصفري عن تساوى المتوسطات .

والقاعدة التي تتبعها للمقارنة هي نفس القاعدة العامة وليس علينا إلا مراعاة أن نتناول فقط البيانات التي بالأقسام التي نرغب في مقارنتها ، وأن ننسب تقدير التباين الناتج منها إلى تقدير التباين (داخل الأقسام) السابق لإنجاده في التحليل العام وهو σ^2 لأن هذا التقدير مبني على جميع ما لدينا من بيانات (وليس على جزء منها) فهو أقدر على تقدير تباين المجتمع σ^2 .

والأمثلة الآتية هي استكمال لدراسة التجربة التي بالمثال (٨ - ١) .

مثال (٨ - ٢) مقارنة مجموعة المراقبة ضد المجموعات الأخرى :

ابحث ما إذا كانت إضافة السكريات تؤثر في نمو مقاطع البسلة .

الحل :

الفرض الصفري هو أن متوسط مجموعات السكريات الأربعة مجتمعة يساوى متوسط مجموعة المراقبة . نعتبر أن لدينا قسمين يتألف الأول من الأقسام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ وبها ٤٠ عنصراً ، مجموع قيمها ٢٣٩٦ ، ومتوسطها ٥٩,٩ ، ويتألف

الثاني من قسم المراقبة وبه ١٠ عناصر مجموع قيمها ٧٠١ ومتوسطها ٧٠,١
ويكون المجموع الكلي لقيم العناصر التي اخترناها لهذه الدراسة ٣٠٩٧ .

$$٢٢ (السكريات ضد المراقبة) = \frac{٢٣٩٦}{٤٠} + \frac{٧٠١}{١٠} - \frac{٣٠٩٧}{٥٠}$$

$$٨٣٢,٣٢ = ٧ حيث ٢ = ١ - ١$$

$$\text{تقدير التباين بين القسمين} = \frac{٨٣٢,٣٢}{١} = ٨٣٢,٣٢ = ٤$$

$$\text{ف.ى.} = \frac{٨٣٢,٣٢}{٥٠,٤٦} = ١٥٢,٤٤$$

$$\text{من الجدول : ف.ى. } [٤٥, ١] = ٧,٢٣$$

نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ونظراً لأن متوسط
السكريات يقل عن متوسط المراقبة نستنتج أن إضافة السكريات يؤخر نمو مقاطع
نبات البسلة .

مثال (٨ - ٣) مقارنة السكريات النقية ضد السكر الخليط :

قارن تأثير إضافة السكريات النقية (مجتمعة) وتأثير إضافة السكر الخليط .

الحل :

الفرض الصفري هو أن متوسط أقسام السكريات النقية معاً يساوى متوسط
قسم السكريات الخليط .

نعتبر هنا أيضاً أن لدينا قسمين يتألف الأول من الأقسام ١ ، ٢ ، ٤ ككل
وبها ٣٠ عنصراً مجموع قيمها ١٨١٦ ومتوسطها ٦٠,٥٣ ويتألف الثاني من القسم
٣ وبه ١٠ عناصر مجموع قيمها ٥٨٠ ومتوسطها ٥٨ ويكون المجموع الكلي لقيم
العناصر التي اخترناها للدراسة ٢٣٩٦ .

$$٢٢ \text{ (سكريات نقية ضد سكريات خليط)} = \frac{١٨١٦}{٣٠} + \frac{٥٨٠}{١٠} - \frac{٢٣٩٦}{٤٠}$$

$$٤٨,١٣ = ٧ = ١ - ٢ \text{ حيث}$$

$$٨,٨٢ = \frac{٤٨,١٣}{٥,٤٦} = \text{في}$$

$$٧,٢٣ = \text{من الجدول : ف } [٠,١, ١, ١٠]$$

نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ونظراً لأن متوسط مجموعة السكريات النقية أكبر من متوسط مجموعة السكر الخليط نستنتج أن إضافة السكريات النقية يؤخر نمو النبات بدرجة أقل مما يؤخره السكر الخليط .

مثال (٨ - ٤) مقارنة مجموعات السكريات النقية معاً :

ابحث ما إذا كان هناك فرق جوهري بين تأثير السكريات النقية الثلاثة .

الحل :

الفرض الصفري هو عدم وجود فروق بين متوسطات الأقسام الثلاثة . نعتبر هنا أن لدينا ثلاثة أقسام ١ ، ٢ ، ٤ مجموع قيمها ١٨١٦ .

$$٢٢ \text{ (بين الأقسام)} = \frac{١٨١٦}{٣٠} - \frac{٦٤١}{١٠} + \frac{٥٨٢}{١٠} - \frac{٥٩٣}{١٠}$$

$$١٩٦,٨٧ = ٣ - ١ = ٢ \text{ حيث}$$

$$٩٨,٤٣٥ = ٢ \div ١٩٦,٨٧ = \text{تقدير التباين بين الأقسام} = \text{ع}^٢$$

$$\text{في} = \frac{٩٨,٤٣٥}{٥,٤٦} = ١٨,٠٦$$

من الجدول نجد أن $F_{100.21} \dots$ تقع بين ٥,١٨ ، ٤,٩٨ ،
 وإذن نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ونستنتج أن السكريات
 النقية تختلف في تأثيرها ، ويبدو أن هذا الاختلاف يرجع إلى السكروز الذى له
 متوسط أعلى بكثير من متوسط النوعين الآخرين .

نستطيع تلخيص ما توصلنا إليه حتى الآن في الجدول الآتي :

جدول (٨ - ٥)

مصدر الاختلاف	مجموع المربعات	درجات الحرية	تقدير التباين	ف
بين الأقسام	١٠٧٧,٣٢	٤	٢٦٩,٣٣	٤٩,٣٣
المراقبة ضد السكريات	٨٣٢,٣٢	١	٨٣٢,٣٢	١٥٢,٤٤
السكريات النقية ضد الخليط	٤٨,١٣		٤٨,١٣	٨,٨٢
بين السكريات النقية	١٩٦,٨٧	٢	٩٨,٤٤	١٨,٠٣
داخل الأقسام	٢٤٥,٥٠		٥,٤٦	
المجموع	١٣٢٢,٨٢	٤٩		

ملاحظة (٥) :

إن تحديد شكل وعدد الاختبارات القبلية يتوقف على التساؤلات التي تطرحها
 المشكلة . على أن هناك تحفظات ينبغى مراعاتها ، فلا يجب أن يزيد مجموع درجات
 الحرية للمقارنات القبلية عن $k - ١$ حيث k عدد الأقسام ، ومن الواضح إذن
 أنه من غير المناسب أن نقرر مقدماً إجراء المقارنة بين متوسطات كل زوج من
 الأقسام وهي تتطلب $\frac{k(k-1)}{2}$ من المقارنات وهذا العدد أكثر
 من $k - ١$ حين $k > ٢$.

وبالإضافة إلى ذلك يفضل أن تختار الاختبارات القبلية بحيث تكون مستقلة ، وذلك لكي تكون المعلومات الناتجة من أى منها ذات قيمة بذاتها وغير متداخلة مع المعلومات الناتجة من أى مقارنة أخرى ، وهذا ما فعلنا في المثال السابق ، إذ أجرينا الاختبارات المستقلة الآتية :

(١) ضد (٢)	ضد (٤)	بدرجات حرية عددها ٢
(١ ، ٢ ، ٤)	ضد (٣)	بدرجات حرية عددها ١
(١ ، ٢ ، ٣ ، ٤)	ضد (٥)	بدرجات حرية عددها ١

وقد أدى هذا الاستقلال إلى أن يكون مجموع مجاميع المربعات في المقارنات الثلاث التي بنيت على ٢ ، ١ ، ١ من درجات الحرية مساوياً لمجموع المربعات بين الأقسام في التحليل العام الذي بني على ٤ درجات حرية . وهذا واضح في الجدول (٨ - ٥) . أى أن مجموع المربعات بين الأقسام قد تحلل إلى ثلاثة أجزاء منفصلة كل منها هو مجموع مربعات قائم بذاته وله درجات حرية خاصة به .

(٨ - ٥ - ٢) الاختبارات البعدية :

هى تلك الاختبارات التي لم يخطط لإجرائها أثناء تصميم التجربة ولكنها تقترح نفسها عند التأمل فيما وصلنا إليه من نتائج بعد إجراء التجربة وتحليل البيانات ، إذ أن هذا التأمل يجعلنا نشتبّه في وجود فروق جوهرية بين بعض الأقسام مما يستحق البحث والاختبار .

ففي التجربة التي بالمثال (٨ - ١) نشعر بأن هناك فرقاً كبيراً بين متوسط السكروز والمتوسطات الأخرى من السكريات مما يوحى بضرورة اختبار دلالة هذا الفرق . كذلك نشعر بأن الفرق بين متوسط السكروز ومتوسط المراقبة يستحق الاختبار .

إن مثل هذه الاختبارات لا تجرى إلا إذا كانت النتيجة العامة لتحليل التباين

ذات دلالة أى حين يرفض الفرض الصفري عن تساوى جميع المتوسطات لأنه لو ظهر أن هذه المتوسطات متساوية فإن هذا يتضمن أن الفروق الظاهرة بين أى قسمين لا تكون فروقاً ذات دلالة وبالتالي فإن أى اختبار نحريه لا يضيف جديداً لما علمناه عن دلالة هذه الفروق .

على أن المقارنات البعدية تحتاج لتقرير دلالتها إلى طرق خاصة تختلف عن تلك التي استخدمت في التحليل العام وفي المقارنات القبلية . ذلك لأن الأقسام التي نأخذها للمقارنة ولو أنها مأخوذة من نفس المجتمع العام إلا أننا نقطعها عمداً من جزء متحيز من التوزيع فهى تفتقد عنصر العشوائية ولا يصبح توزيع الاحتمال الذى أسست عليه عملية اختبار الفروض صالحاً لها . وإذا تناولنا التجربة بالمثل (٨ - ١) وقارناً القسم (٣) الذى أعطى أصغر متوسط والقسم (٥) الذى أعطى أكبر متوسط نكون قد أخذنا الجزء المتطرف الأيسر والجزء المتطرف الأيمن من التوزيع ويكون من السهل ظهور اختلاف كبير بين متوسطيهما حتى ولو كانا من نفس المجتمع . وإذا أردنا الدقة في الحكم فيجب أن نأخذ هذا في الاعتبار وذلك بتصعيب تقرير دلالة مثل هذا الفرق .

ويعتمد أحد طرق الاختبارات البعدية على إيجاد قيمة حرجة لمجموع المربعات إذا تعداها مجموع المربعات بين قسمين أو مجموعة من الأقسام يكون الاختلاف بينها ذا دلالة وإلا فهو ليس كذلك . وتوجد هذه القيمة الحرجة كما يلي :

إن الاختبارات البعدية لا تجري كما سبق القول إلا إذا كانت قيمة F في تحليل التباين ذات دلالة ، أى إذا كان :

$$F = \frac{E^2}{E^2} \leq F_{\alpha} [k - 1, n - k]$$

$$\text{أى } \frac{E^2}{E^2} \leq F_{\alpha} [k - 1, n - k] \quad \text{(بين الأقسام)}$$

$$\text{أى } \frac{E^2}{E^2} \leq F_{\alpha} [k - 1, n - k] \quad \text{(بين الأقسام)} \quad (٧)$$

والعدد الذى بالطرف الأيسر من هذه المتباينة هو القيمة الحرجة المطلوبة . ويلاحظ أن هذا العدد أكبر من القيمة الحرجة المناظرة التي كان من الممكن استخدامها في المقارنات القبلية بعد وضع عدد أقسام المقارنة 1 بدلا من العدد الكلى للأقسام كـ . والمهدف من كبر هذه القيمة تصعيب تقرير دلالة الاختلاف تعويضاً عن أننا نختار للمقارنة تلك الأقسام التي تسهم إسهاماً كبيراً في دلالة تحليل التباين .

ففي المثال (٨ - ١) وبأخذ $\alpha = 0.05$ ، نجد أن :

$$\text{القيمة الحرجة لمجموع المربعات} = 4 \times 5.46 \times 2.58 = 56.35$$

فاذا زادت قيمة مجموع المربعات بين متوسطات قسمين أو أكثر عن هذا العدد أو كانت مساوية له فإنها تكون ذات دلالة عند المستوى 0.05 .

ملاحظة (٦) :

تسمى هذه الطريقة « إجراء الاختبار الآتى لمجموع المربعات » sum of squares simultaneous test procedure وهي إحدى طرق الاختبارات البعدية للمقارنات المتعددة .

مثال (٨ - ٥) :

اختبر ما تراه يستحق الاختبار في نتائج تجربة المثال (٨ - ١) .

الحل :

لو رتبنا المتوسطات الناتجة تصاعدياً نجد الآتى :

٥٨ (جلو كوز + فركتوز) ، ٥٨,٢ (فركتوز) ، ٥٩,٣ (جلو كوز) ،
٦٤,١ (سكروز) ، ٧٠,١ (مراقبة) . وهذا الترتيب يوحي بعدة مقارنات
نكتفي منها بما يلى :

(أولاً) المقارنة بين المتوسطات الثلاث الأولى ، حيث أنها تبدو قريبة من بعضها ويشك في وجود فرق جوهري بينها .

$${}^2\text{م}^2 \text{ (بين الأقسام الثلاثة)} = \frac{{}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2}{10} - \frac{{}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2}{30}$$

$$9,8 = 102677,3 - 102667,5 =$$

بما أن 9,8 أصغر من القيمة الحرجة 56,35 نحكم بأن الفروق بين المتوسطات الثلاث ليست ذات دلالة أى يمكن اعتبار أن هذه الأقسام من مجتمعات متساوية المتوسطات ، وذلك عند مستوى الدلالة 0,05 .

(ثانياً) المقارنة بين متوسط السكروز ومتوسط السكريات الثلاثة الأخرى :
{}^2\text{م}^2 \text{ (سكروز ضد السكريات الأخرى)} .

$$= \frac{{}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2}{40} - \frac{{}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2 + {}^2\text{م}^2}{30} + \frac{{}^2\text{م}^2}{10}$$

$$= 235,2 = 143520,4 - 102667,5 + 41088,1 =$$

بما أن 235,2 أكبر من القيمة الحرجة 56,35 نحكم بأن الفرق بين السكروز والمستويات الأخرى من السكريات هو فرق جوهري مما يشير إلى أن السكروز يؤخر نمو النبات بدرجة أقل من السكريات الأخرى .

ملاحظة (٧) :

إذا رغبتنا في إجراء اختبار بين أى زوج من الأقسام فيمكننا استخدام اختبار ت للمقارنة بين متوسطى مجتمعين معتدلين - راجع البند (٦ - ٦ - ٣) مع أعخذ
{}^2\text{ع} = {}^2\text{ع} \text{ لتقدير التباين أى نستخدم الإحصاءة} :

$$\frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \bar{C}$$

بدرجات حرية ($n - k$) وهى درجة الحرية لتقدير التباين داخل الأقسام في تحليل التباين ، إلا أن الطريقة سابقة الذكر أكثر عمومية ، فهى صالحة للتطبيق مهما كان عدد أقسام المقارنة .

كما يمكننا إيجاد حدى ثقة بدرجة ($1 - \alpha$) للفرق بين المتوسطين من الصيغة .

$$(8) \quad (\bar{y}_1 - \bar{y}_2) \pm \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \bar{C} \quad \alpha (n - k)$$

أما حدا الثقة بدرجة ($1 - \alpha$) لمتوسط أى قسم \bar{y}_i فهما :

$$(9) \quad \bar{y}_i \pm \sqrt{\frac{1}{n_i}} \bar{C} \quad \alpha (n - k)$$

ملاحظة (8) : القيمة الحرجة للفرق بين متوسطى عيّتين

CRITICAL DIFFERENCE (C.D.)

إذا رغبتنا في إجراء غدة اختبارات بعدية بين أزواج من المتوسطات فيمكن بنفس فكرة القيمة الحرجة لمجموع المربعات إيجاد القيمة الحرجة للفرق بين أى زوج \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 من المتوسطات كالاتى (على فرض تساوى عدد الوحدات في كل مجموعة) :

يكون الفرق بين متوسطين \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 ذا دلالة

$$\text{إذا كان } \frac{|\bar{S}_1 - \bar{S}_2|}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} < t_{\alpha} (n - 1)$$

$$\text{أى إذا كان } |\bar{S}_1 - \bar{S}_2| \leq \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} t_{\alpha} (n - 1)$$

والعدد الذى بالطرف الأيسر من هذه المتباينة هو القيمة الحرجة المطلوبة .

ففى المثال (٨ - ١) وبأخذ $\alpha = ٠,٠٥$ نجد أن :

$$\begin{aligned} \text{القيمة الحرجة بين متوسطى قسمين} &= \sqrt{٠,٢ \times ٢,٠١} \times \sqrt{٥,٤٦} \\ &= ٢,١٠٥ \end{aligned}$$

إذا زاد الفرق $|\bar{S}_1 - \bar{S}_2|$ عن العدد ٢,١٠٥ أو كان مساوياً له فإن هذا الفرق يكون ذا دلالة عند المستوى ٠,٠٥ وإلا فلا دلالة له عند هذا المستوى .

فمثلاً : الفرق بين متوسطى قسمى الجلوكوز والفركتوز = ٥٩,٣ - ٥٨,٢ = ١,١

وهذا الفرق أصغر من القيمة الحرجة ٢,١ فهو غير ذى دلالة عند المستوى

٠,٠٥ . أما الفرق بين متوسطى قسمى السكرز والمراقبة وهو ٧٠,١ - ٦٤,١ = ٦

فأكبر من القيمة الحرجة ٢,١ فهو فرق جوهري . ونصل إلى نفس هذه الاستنتاجات إذا استخدمنا طريقة القيمة الحرجة لمجموع المربعات .

ملاحظة (٥) : التقسيم الأحادى

ONE-WAY CLASSIFICATION

إن التقسيم الناتج عن التجارب ذوات العامل الواحد التى نوقشت فى البنود

السابقة يندرج تحت ما يسمى بالتقسيم الأحادى أو التقسيم من ناحية واحدة .
وهذا التقسيم يتناول حالتين :

(أ) الحالة السابق دراستها ومثل لها بالمثال (٨ - ١) وتوابعه ، حيث يكون لدينا مجتمع واحد ونريد اختبار تأثيره من المعالجات (مستويات عامل التقسيم) على متغير ما متعلق بهذا المجتمع . فى هذه الحالة نسحب من هذا المجتمع عينة عشوائية ثم نقسمها عشوائيا إلى ك من المجموعات غير المتداخلة ونعطى لكل منها معالجة مختلفة ، ثم ندرس الاستجابات فى هذه المجموعات .

(ب) الحالة التى يكون لدينا فيها ك من المجتمعات لكل منها خاصية متميزة ويراد دراسة تأثير هذه الخواص على متغير ما . هنا نسحب عينة عشوائية من كل مجتمع ونعطى لكل منها نفس المعالجة ثم ندرس الاستجابات . ومن أمثلة هذه الحالة المسائل ٢ ، ٣ ، ٥ ، ٦ من التمارين (٨ - ١) الآتية . وفى المسألة (٢) لدينا ٤ مجتمعات هى مجتمعات الأنواع الأربعة من الأرناب ، وفى المسألة (٣) لدينا ٣ مجتمعات هى المجتمع الذى تزرع فيه البذور فى أول مايو والمجتمع الذى تزرع فيه البذور فى ١٥ مايو ثم مجتمع ٢٩ مايو .

فى الحالة (ب) نفترض أن المجتمعات التى سحبت منها العينات هى مجتمعات معتدلة لها نفس التباين ، ونستخدم نفس النموذج الإحصائى ، وبهذا لا يختلف التحليل الإحصائى نظريا ولا حسابيا عن الحالة (أ) .

تمارين (٨ - ١)

(الفرضيات العشوائية والاعتدالية متوفرة)

(١) الجدول الآتى يبين عينة من قيم شدة المقاومة لمعدن معين (بعد طرح ١٠٠ من كل منها) وقد حصلنا على هذه القيم من ٤ أشرطة من المعدن قيس كل منها

عند ٣ نقط مختلفة (الركن - الوسط - الحافة) . هل متوسط شدة المقاومة واحد عند جميع نقط الشريحة ؟

الركن	الوسط	الحافة
٣٧	٤٠	٤٢
٤٢	٣٩	٤٠
٢٨	١٧	٣٣
٣٧	٣٧	٤١

(٢) القيم الآتية هي أطوال أذنان نوع معين من يرقات القردة في عينات من ٤ أنواع من الأرناب (مقيسة بالميكرون) . هل هناك فروق جوهرية بين متوسطات الأطوال في هذه الأنواع ؟

(١)	(٢)	(٣)	(٤)
٣٨٠	٣٥٠	٣٥٤	٣٧٦
٣٧٦	٣٥٦	٣٦٠	٣٤٤
٣٦٠	٣٥٨	٣٦٢	٣٤٢
٣٦٨	٣٧٦	٣٥٢	٣٧٢
٣٧٢	٣٣٨	٣٦٦	٣٧٤
٣٦٦	٣٤٢	٣٧٢	٣٦٠
٣٧٤	٣٦٦	٣٦٢	
٣٨٢	٣٥٠	٣٤٤	
	٣٤٤	٣٤٢	
	٣٦٤	٣٥٨	
		٣٥١	
		٣٤٨	
		٣٤٨	

اطرح ٣٠٠ أو أى عدد مناسب

(٣) هل تاريخ زراعة القطن يؤثر في وزن المحصول الناتج من البنور ؟
الآتي هي الأوزان بالكيلوجرامات الناتجة من ٤ حقول قسم كل منها إلى ٣
أحواض :

٢٩ مايو	١٥ مايو	١ مايو
١,٩٩	٣,٨٦	٣,٣٥
٢,٨٩	٢,٧١	١,٤٩
١,٦٨	٢,١٨	٢,٤٤
٢,١٣	١,٩٥	٢,٤٤

(٤) قسم ٢٨ أرنبا عشوائيا إلى ٤ أقسام متكافئة وأعطى لكل قسم معالجة
ما (مثلا : دواء - نظام تغذية - بيئة ..) والجدول الآتي يعطى مستوى
السكر في الدم الناتج من هذه المعالجات . هل هناك دليل على وجود فروق بين
تأثيرات هذه المعالجات على مستوى السكر في الدم ؟

المعالجات

(٤)	(٣)	(٢)	(١)
٩	٣٥	٣٧	١٧
٨	٢٢	٣٦	١٦
١٧	٣٥	٢١	٢٨
١٨	٣٨	١٣	٤
١	٣١	٤٥	٢١
٣٤	٣٤	٢٣	صفر
١٣	٤٠	١٣	٢٣

(٥) في تجربة صناعية كان أحد المهندسين مهتماً بكيفية تغير متوسط امتصاص الرطوبة بين خمس مجموعات مختلفة من الخرسانة ، واستخدم لذلك ٦ عينات لكل مجموعة تعرضت للرطوبة لمدة ٤٨ ساعة فجاءت البيانات كما يلي .

المجموعة	(الوزن %)			
	١	٢	٣	٤
٥٥١	٥٩٥	٦٣٩	٤١٧	٥٦٣
٤٥٧	٥٨٠	٦١٥	٤٤٩	٦٣١
٤٥٠	٥٠٨	٥١١	٥١٧	٥٢٢
٧٣١	٥٨٣	٥٧٣	٤٣٨	٦١٣
٤٩٩	٦٣٣	٦٤٨	٤١٥	٥٥٦
٦٣٢	٥١٧	٦٧٧	٥٥٥	٦٧٩
اطرح ٤٥٠ أو ٥٠٠ أو أى عدد مناسب .				

اختبر أن $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ عند المستوى ٠,٠٥ .

(٦) في تجربة ما اختبرت سلالتان من *Drosophila Melanogaster* إحداهما للدورة يرقات قصيرة (short larval period) والأخرى للدورة طويلة ، كما أخذت سلالة كمجموعة مراقبة . وفي الجيل ٤٢ لخصت البيانات عن طول الدورة بالساعات فيما يلي :

السلالة		دورة قصيرة	دورة طويلة	مراقبة
٨٠	٣٣	٦٩		
٨٠٧٠	٣٦٤٠	٧٢٩١		
١٩٩٤٦٥٠				

أولاً : أجر تحليل التباين وفسره .

ثانياً : أجر المقارنة القبلية بين الدورتين القصيرة والطويلة معاً ضد المراقبة .

ثالثاً : أجر المقارنة البعدية بين كل من أزواج المتوسطات الثلاثة .

رابعاً : أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لكل من هذه المتوسطات .

(٧) في أحد الأبحاث الطبية عن علاج جحوظ العين الناتج من تسمم الغدة الدرقية اختبرت عينة عشوائية من ٣٠ ضفدعة وقسمت عشوائياً إلى ثلاث مجموعات متساوية العدد تلقت إحداها علاجاً دوائياً وتلقت أخرى علاجاً جراحياً (استئصال الغدة النخامية) وتركت المجموعة الثالثة دون علاج (مجموعة مراقبة) ثم قيس العيون بالمقياس الأفقي للعين فنتجت القيم الآتية بالملليمترات .

مجموعة العلاج الدوائي : ١,٦ ١,٧ ١,٤ ١,٨ ١,٩ ١,٨ ١,٣ ١,٦ ١,٥ ١,٧

مجموعة العلاج الجراحي : ١,٥ ١,٤ ١,٣ ١,٢ ١,٨ ١,٩ ١,٩ ١,٧ ١,٦ ١,٣

مجموعة المراقبة : ١,٩ ٢ ٢ ١,٨ ٢ ١,٩ ٢,١ ٢,٢ ١,٧ ١,٨

(أ) اختبر تأثير مجموعتي العلاج ضد مجموعة المراقبة .

(ب) اختبر ما إذا كان هناك فرق جوهري بين نوعي العلاج .

(خذ $\alpha = 0,01$)

(٨ - ٦) التجارب ذوات العاملين :

TWO-FACTOR EXPERIMENTS

اعتبر عينة حجمها n مأخوذة من متغير معتدل μ وسطه الحسابي μ وتباينه σ^2 وافرض أن وحدات هذه العينة قد تعرضت لتأثير عاملين لأحدهما k من المستويات وللثاني h من المستويات . المطلوب اختبار ما إذا كان المجتمع الذي أخذت منه العينة متجانساً بالنسبة لكل من هذين العاملين على حدة .

في هذه الحال علينا أن نختار بين طريقتين للتحليل ، ويتوقف هذا الاختيار على ما إذا كان العاملان مستقلين أو كانا يتفاعلا معاً . والمقصود بكلمة التفاعل هنا هو تأثير أى من العاملين على الآخر . وسنبداً بالحالة الأبسط التي سنفترض فيها عدم وجود تفاعل بين العاملين .

(٨ - ٦ - ١) حالة عاملين لا يتفاعلا :

على أساس توفر عوامل الاعتدالية والعشوائية وخطية النموذج وعلى فرض عدم وجود تفاعل بين عاملى التجريب ، يكون تحليل التباين ما هو إلا امتداد لتحليل التباين للتجارب ذوات العامل الواحد ولا يزيد عنه إلا بخطوة منطقية واحدة . توضع وحدات العينة في كل من الأعمدة تناظر مستويات العامل الأول ، هـ من الصفوف تناظر مستويات العامل الثاني ، فتخضع أى وحدة تجريبية y_{ij} للنموذج الآتي :

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (١٠)$$

حيث μ ، α_i ، β_j ، ϵ_{ij} تحمل نفس المعاني السابقة في النموذج (٢) ، وحيث β_j تعبر عن متوسط أثر المستوى j للعامل الثاني .

وكنتيجة مباشرة لذلك ، لا يتحلل مجموع المربعات الكلى إلى مركبتين كما هو الحال في المتساوية (٣) بل إلى ثلاث مركبات . ومن الطبيعي أن تظل المركبة الأولى التي تعبر عن الاختلاف بين مستويات العامل الأول (الأعمدة) كما هي ، أما المركبة الثانية في المتساوية (٣) فتفصل إلى مركبتين إحداهما تعبر عن الاختلاف بين مستويات العامل الثاني (الصفوف) والأخرى تعطى الاختلاف الذى يتبقى من الاختلاف الكلى بعد استبعاد أثر كل من العاملين . هذا الاختلاف يعزى إلى عدة أسباب نضمها تحت كلمة « الخطأ » ، منها الخطأ العشوائى أو خطأ التجريب ومنها الخطأ الناشئ عن إهمال التفاعل بين العاملين إذا كان هناك تفاعل .

يمكن جبرياً أن نثبت المتطابقة الآتية :

$$\frac{ك}{ح} = \frac{هـ}{ح} (س - س) = \frac{ع}{ح} (س - س) = \frac{ع}{ح} (س - س) + \frac{ع}{ح} (س - س) = \frac{ع}{ح} (س - س) + \frac{ع}{ح} (س - س)$$

$$(9) \quad \frac{ع}{ح} (س - س) + \frac{ع}{ح} (س - س) = \frac{ع}{ح} (س - س) + \frac{ع}{ح} (س - س)$$

وهذه المتطابقة تترجم لفظياً كالآتي :

$$٢٢ (الكل) = ٢٢ (بين الأعمدة) + ٢٢ (بين الصفوف) + ٢٢ (الخطأ)$$

$$١ - هـ = ٣٧ ، ١ - ك = ٣٧ ، ١ - ح = ٣٧$$

$$(10) \quad ٣٧ = (١ - هـ) - (١ - ك) = (١ - هـ) (١ - ك)$$

وإذن :

$$٣٧ + ٣٧ + ٣٧ = ٣٧$$

إن هذه المركبات الثلاث تعطى ثلاثة تقديرات مستقلة لتباين المجتمع σ^2 وهى :

$$١٢ = \frac{ع}{ح} (بين الأعمدة) / (١ - ك) ، ٢٢ = \frac{ع}{ح} (بين الصفوف) / (١ - هـ) ،$$

$$٣٢ = \frac{ع}{ح} (الخطأ) / (١ - ك - هـ + ١)$$

ولا يبقى إلا استخدام نسبة التباين $\frac{١٢}{٢٢}$ لاختبار صحة الفرض الصفري عن

تساوى متوسطات مستويات العامل الأول . واستخدام نسبة التباين $\frac{٢٢}{٣٢}$ لاختبار

صحة الفرض الصفري عن تساوى متوسطات مستويات العامل الثانى .

مثال (٨ - ٦) :

قسمت ١٢ بقرة إلى ه = ٤ من المجموعات بكل منها ٣ بقرات بحسب الوزن عند بدء التجربة . أعطى للأبقار الثلاث بكل مجموعة نوع مختلف من الغذاء . وبعد فترة من الزمن قيست الزيادات في أوزان الأبقار ورصدت بالجدول (٨ - ٦) الآتي . لدينا عاملان الأول هو عامل الغذاء وله ه = ٣ مستويات والثاني هو عامل الوزن الابتدائي للأبقار وله ه = ٤ مستويات . المطلوب بحث تأثير كل من هذين العاملين على الزيادة في وزن الأبقار عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ .

جدول (٨ - ٦)

الوزن الابتدائي للأبقار	نوع الغذاء			٢	١
	١	٢	٣		
١	٧,٠	١٤,٠	٨,٥	٣	٢٩,٥
٢	١٦,٠	١٥,٥	١٦,٥	٣	٤٨,٠
٣	١٠,٥	١٥,٠	٩,٥	٣	٣٥,٠
٤	١٣,٥	٢١,٠	١٣,٥	٣	٤٨,٠
٢	٤	٤	٤	١٢ = ه	
٣	٤٧,٠	٦٥,٥	٤٨,٠	١٦٠,٥ = ٢	

الحل :

لدينا اثنان من الفروض الصفرية : لا الوزن الابتدائي ولا نوع الغذاء له تأثير في زيادة أوزان الأبقار .

$${}^2_{16,0} - {}^2_{13,0} + \dots {}^2_{8,0} + \dots + {}^2_{14} + \dots + {}^2_7 = (\text{الكلي})$$

$$2146,6875 - 2316,75 =$$

بدرجات حرية ١١

$$170,0625 =$$

$$\frac{{}^2_{16,0}}{12} - \frac{{}^2_{48} + {}^2_{60,0} + {}^2_{47}}{4} = (\text{بين الأعمدة})$$

$$2146,6875 - 2200,8125 =$$

بدرجات حرية ٢

$$54,125 =$$

$$\frac{{}^2_{16,0}}{12} - \frac{{}^2_{48} + {}^2_{30} + {}^2_{48} + {}^2_{29,0}}{3} = (\text{بين الصفوف})$$

$$2146,6875 - 2234,4166 =$$

بدرجات حرية ٣

$$87,7291 =$$

$$(87,7291 + 54,125) - 170,0625 = (\text{الخطأ})$$

بدرجات حرية ٦

$$28,2084 =$$

وينشأ جدول التباين الآتي .

الجدول (٨ - ٧)

مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية	تقدير التباين	في
بين الأعمدة (نوع الغذاء)	54,1250	٢ = ١ - ١	$27,0625 = \frac{2}{1} \epsilon$	٥,٧٥٦
بين الصفوف (الوزن الابتدائي)	87,7291	٣ = ١ - ١	$29,2430 = \frac{3}{1} \epsilon$	٦,٢٢٠
خطأ التجريب	28,2084	٦ = (١ - ٣) (١ - ١)	$4,7014 = \frac{6}{1} \epsilon$	
المجموع	170,0625	١١ = ١ - ١		

من الجدول نجد أن $F_{[6, 27], 0.05} = 5.14$ وهذه أصغر من 5.756 وإذن نرفض الفرض الصفري الأول عند المستوى 0.05، ونقرر أن اختلاف نوع الغذاء يؤدي إلى الاختلاف في الزيادة في أوزان الأبقار.

كذلك $F_{[6, 27], 0.05} = 4.76$ وهذه أصغر من 6.220 وإذن نرفض الفرض الصفري الثاني عند المستوى 0.05، ونقرر أن اختلاف الأوزان الابتدائية للأبقار له تأثير في الزيادة في أوزانها.

تمارين (٨ - ٢)

(١) أجريت تجربة زراعية لاختبار تأثير اختلاف التربة (٥ قطع من الأرض) واختلاف نوع القمح (٧ سلالات) على محصول الحبوب. وقد قسمت كل قطعة أرض عشوائياً إلى ٧ أحواض وزعت عليها السلالات السبع عشوائياً فنتجت البيانات الآتية التي تسجل المقادير الناتجة للمحصول بالكيلو.

م	السلالة							قطعة الأرض
	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	
١٠٤	١٦	١٥	١٧	١٤	١٤	١٥	١٣	(١)
٧٨	١٢	٩	١٥	١٠	١٠	١١	١١	(٢)
٩٠	١٣	١٣	١٤	١٥	١٢	١٣	١٠	(٣)
١١٢	١٥	١٤	١٩	١٧	١٣	١٨	١٦	(٤)
٧٨	١١	١٠	١٢	١٠	١١	١٢	١٢	(٥)
٤٦٢	٦٧	٦١	٧٧	٦٦	٦٠	٦٩	٦٢	م

مح س^٢ = ٦٣١٤

أولاً : ابحث دلالة تأثير كل من عاملي التربة ونوع القمح .
ثانياً : ابحث ما إذا كان الفرق بين السلالتين (٥) ، (٦) ذا دلالة عند المستوى

٠,٠٥

ثالثاً : ابحث ما إذا كانت تربة القطعتين ٢ ، ٥ (معاً) تختلف عن تربة القطعتين ١ ، ٤ (معاً) .

(استخدام مستوى الدلالة ٠,٠١) .

(٢) الآتي هي مقادير الكلوسترول (بالملليجرام في العبوة) التي وجدتها ٤ معامل في عبوات لثلاثة أنواع متشابهة من الغذاء وزن كل منها ٦ أوقيات .

الغذاء	المعامل			
	(١)	(٢)	(٣)	(٤)
(أ)	٣,٧	٢,٨	٣,١	٣,٤
(ب)	٣,١	٢,٦	٢,٧	٣,٠
(ج)	٣,٥	٣,٤	٣,٠	٣,٣

اختر عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ما إذا كانت :

(أولاً) متوسطات الكلوسترول في الأنواع الثلاثة من الغذاء متساوية .

(ثانياً) المتوسطات التي حصلت عليها المعامل الأربعة متساوية .

(٣) الأعداد الآتية هي درجات الحرارة (مقاسة بالسنتجرات) لمياه إحدى البحيرات في أربعة أيام متتالية من صيف ١٩٥٢ م (الساعة الثانية بعد الظهر) ، وقد أخذت هذه الدرجات على ١٠ أعماق مختلفة (مقاسة بالمتر) . ابحث دلالة كل من عاملي اليوم والعمق .

الأعماق	٢٩ يوليو	٣٠ يوليو	٣١ يوليو	١ أغسطس	م
٠	٢٣,٨	٢٤,٠	٢٤,٦	٢٤,٨	٩٧,٢
١	٢٢,٦	٢٢,٤	٢٢,٩	٢٣,٢	٩١,١
٢	٢٢,٢	٢٢,١	٢٢,١	٢٢,٢	٨٨,٦
٣	٢١,٢	٢١,٨	٢١,٠	٢١,٢	٨٥,٢
٤	١٨,٤	١٩,٣	١٩,٠	١٨,٨	٧٥,٥
٥	١٣,٥	١٤,٤	١٤,٢	١٣,٨	٥٥,٩
٦	٩,٨	٩,٩	١٠,٤	٩,٦	٣٩,٧
٩	٦,٠	٦,٠	٦,٣	٦,٣	٢٤,٦
١٢,٥	٥,٨	٥,٩	٦,٠	٥,٨	٢٣,٥
١٥,٥	٥,٦	٥,٦	٥,٥	٥,٦	٢٢,٣
م	١٤٨,٩	١٥١,٤	١٥٢,٠	١٥١,٣	٦٠٣,٦

$$\text{مجموع } S_{\text{م}} = ١١٢٣٠,٧٨$$

(٨ - ٦ - ٢) حالة عاملين يتفاعلان :

في التجارب ذوات العاملين ، إذا كان هناك شك في وجود تفاعل بين العاملين أى في تأثير كل منهما جزئياً بالآخر ، فإن النموذج (١٠) لا يكون مناسباً لأنه لا يفسح مكاناً لتأثير هذا التفاعل . وعلى فرض توفر شروط الاعتدالية والعشوائية وخطية النموذج فإن النموذج المناسب يأخذ الصورة الآتية :

$$S_{\text{م}} = \mu + \alpha_j + \beta_i + (\beta\alpha)_{ji} + \text{خطأ} \quad (١١)$$

حيث $(\beta\alpha)$ تعبر عن تأثير الاختلاف الناشيء من تفاعل العاملين . ولكي نوجد مقياساً لهذا الاختلاف لا مفر من تكرير التجربة برمتها مرة واحدة على الأقل وذلك لأنه في التجربة الواحدة يؤثر المستوى ٣ مثلاً من العامل الأول مع المستوى ٢ مثلاً من العامل الثاني على وحدة واحدة فقط هي $\gamma_{٣٢}$ من وحدات التجريب ، وبالمثل بالنسبة لأزواج المستويات الأخرى ، ولا يكون هناك مجال حيثذ لإيجاد الاختلاف الناشيء عن تفاعل العاملين إلا إذا كان هناك أكثر من وحدة تتعرض لتأثير كل من أزواج هذه المستويات ، أى إلا إذا كررت التجربة مرة واحدة على الأقل . وتجمع نتيجة التجريبتين أو التجارب فيما يسمى بالخلايا كما في المثال (٨ - ٧) الآتي .

ومن الناحية الحسابية نوجد كلا من $\mu_{٢٢}$ (الكلى) ، $\mu_{٢٢}$ (بين الأعمدة) ، $\mu_{٢٢}$ (بين الصفوف) من واقع القيم الناتجة عن التجريب كما في البند السابق . أما بالنسبة للاختلافين الباقيين فنحسبهما من مجاميع الخلايا كالآتي :

نفرض أننا كررنا التجربة برمتها ١ من المرات فيكون كل زوج من أزواج المستويات قد أثر في ١ من وحدات التجريب . سنسمى مجموع قيم كل من هذه الوحدات « مجموع الخلية » ونرمز له بالرمز $\mu_{٢٢}$ وإذن :

$$\mu_{٢٢} = \frac{\mu_{٢٢}}{١} - \frac{\mu_{٢٢}}{٥} \quad (١٢)$$

بدرجات حرية عددها (ك - هـ - ١) حيث ك عدد الأعمدة ، هـ عدد الصفوف . إن هذا الاختلاف هو مجموع الاختلافات الناشئة عن العاملين بكل أنواعها وإذن :

$$\mu_{٢٢} = \mu_{٢٢} - \mu_{٢٢} \quad (\text{تفاعل العاملين}) \quad (\text{بين الخلايا}) \quad (\text{بين الأعمدة}) -$$

$$\mu_{٢٢} = \mu_{٢٢} \quad (\text{بين الصفوف}) \quad (\text{بدرجات حرية عددها})$$

$$(ك - هـ - ١) - (ك - هـ - ١) - (ك - هـ - ١) = (ك - هـ - ١) - (ك - هـ - ١) - (ك - هـ - ١)$$

$$= (ك - هـ - ١) - (ك - هـ - ١)$$

الجدول (٨ - ٨)

درجة الحرارة	شدة الضوء				ن _س	ن _م
	(١)	(٢)	(٣)	(٤)		
٨	٩، ١٧ (٢٦)	١٥، ١٣ (٢٨)	١٦، ١٣ (٢٩)	١٠، ٨ (١٨)	٨	١٠١
١٤	٨، ٦ (١٤)	٥، ٦ (١١)	٤، ٦ (١٠)	٥، ٤ (٩)	٨	٤٤
٢١	٤، ٣ (٧)	٥، ٣ (٨)	٤، ٣ (٧)	٤، ٥ (٩)	٨	٣١
٢٨	٢، ٢ (٤)	٣، ٢ (٥)	٣، ٢ (٥)	٢، ٢ (٤)	٨	١٨
ن _س	٨	٨	٨	٨	٨	٣٢ = ن
ن _م	٥١	٥٢	٥١	٤٠	٨	١٩٤ = ن

$$٢٢ \text{ (بين الأعمدة)} = \frac{ن_{س}^{٢٢} - ن_{م}^{٢٢}}{ن}$$

$$= \frac{١١٧٦ - (٤٠ + ٥١ + ٥٢ + ٥١)}{٨}$$

$$= ١١٧٦ - ١١٨٨,٢٥ =$$

$$١٢,٢٥ =$$

حيث $٣ = ٢$

$$٢٢ \text{ (بين الصفوف)} = \frac{ن_{س}^{٢٢} - ن_{م}^{٢٢}}{ن}$$

$$= \frac{١١٧٦ - (١٨ + ٣١ + ٤٤ + ١٠)}{٨}$$

$$= ١١٧٦ - ١٦٧٧,٧٥ = ٥٠١,٧٥$$

حيث $٣ = ٢$

$${}^{22} = \frac{{}^{22} \text{مجموع}}{n} - \frac{{}^{22} \text{مجموع}}{1} = (\text{بين الخلايا})$$

$$1176 - \frac{14 + 9 + \dots + 14 + 27}{2} =$$

$$1176 - 1724 =$$

$$10 = 1 - 4 \times 4 = \text{حيث } \text{مجموع} = 048 =$$

$$(001,70 + 12,20) - 048 = \text{مجموع (تفاعل)}$$

$$9 = (1-4)(1-4) = \text{حيث } \text{مجموع} = 34 =$$

$$048 - 098 = \text{مجموع (الخطأ)}$$

$$16 = 10 - 31 = \text{حيث } \text{مجموع} = 00 =$$

جدول (٨ - ٩)

ن	تقدير التباين	درجات الحرية	مجموع المربعات	مصدر التباين
1,304	4,08	3	12,20	بين الأعمدة (شدة الإضاءة)
03,430	167,20	3	001,70	بين الصفوف (درجة الحرارة)
1,204	3,77	9	34	تفاعل (الإضاءة × الحرارة)
	3,13	16	00	داخل الأقسام (الخطأ)
		31	098	المجموع

ف 000... [16, 3] تقع بين 3,10 ، 3,29 ، ف 000... [16, 3] تقع بين 4,94 ، 4,42 ،

ف 000... [16, 9] تقع بين 39 ، 2,09 ،

وعلى ذلك فإن :

(١) الاختلافات بين مستويات شدة الإضاءة ليست ذات دلالة عند المستوى ٠,٠٥
(أى يمكن اعتبار هذه المستويات متكافئة) .

(٢) الاختلافات بين مستويات درجة الحرارة ذات دلالة عالية .

(٣) التفاعل بين عاملى الإضاءة ودرجة الحرارة ليس ذو دلالة عند المستوى ٠,٠٥
نحجب الآن عن التساؤلات الثلاثة المطروحة .

(أولا)

$$٢٢) \text{ (درجة الحرارة ٨ ضد درجة الحرارة ٢٨)} = \frac{119}{16} - \frac{118}{8} + \frac{117}{8} = ٤٣٠,٥٦٢٥$$

$$١٣٧,٥٦ = \frac{٤٣٠,٥٦٢٥}{٣,١٣} = \text{فى}$$

بما أن $١٣٧,٥٦ > ٨,٦٨ = F_{[16,11],0.01}$ نرفض الفرض الصفري عن تساوى تأثير
درجة الحرارة ٨ وتأثير درجة الحرارة ٢٨ ونستنتج أن لدرجة الحرارة ٨ تأثير أكبر ،
وذلك عند مستوى الدلالة ٠,٠١

(ثانيا)

$$٢٢) \text{ (بين مستوى درجتى الحرارة ١٤ ، ٢١)} = \frac{170}{16} - \frac{171}{8} + \frac{174}{8} = ١٠,٥٦٢٥$$

$$٣,٣٧٥ = \frac{١٠,٥٦٢٥}{٣,١٣} = \text{فى}$$

بما أن $٣,٣٧٥ < ٤,٥٤ = F_{[16,11],0.05}$ نقبل الفرض الصفري عن تساوى تأثير
درجتى الحرارة ١٤ ، ٢١ .

(ثالثاً)

$$٢٢) \text{ (بين الزوجين) } = \frac{١٨ + ١٠١}{١٦} + \frac{٣١ + ٤٤}{١٦} - \frac{١٩٤}{٣٢} = ٦٠,٥$$

$$\text{فى} \quad ٦٩,٣٢٩ = \frac{٦٠,٥}{٣,١٣}$$

نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١

ملاحظة (٩) :

إن هذه المقارنات الثلاث مستقلة ويمكن التأكد من ذلك باستخدام معيار استقلال مقارنتين الذى سنقدمه بالبند (٨ - ١١ - ١) . ولذلك فإن مجموع مجاميع المربعات لهذه المقارنات وهو $٤٣٠,٥٦٢٥ + ١٠,٥٦٢٥ + ٦٠,٥ = ٥٠١,٦٢٥$ يساوى مجموع المربعات بين الصفوف (درجات الحرارة) ، أى أن هذا المجموع قد تحلل إلى ٣ مركبات مستقلة ، كما تحللت درجات حرته الثلاثة إلى ثلاث درجات حرية منفصلة .

ملاحظة (١٠) :

إذا كنا قد وجدنا تفاعلاً ذا دلالة بين شدة الإضاءة ودرجة الحرارة فإن الخطوة التالية تكون حينئذ تقسيم البيانات إلى جداول منفصلة لكل مستوى من مستويات شدة الإضاءة وتحليل كل جدول لاختبار تأثير مستويات درجة الحرارة ، وقد نجد أنه في مستوى ما من مستويات الإضاءة تكون درجة الحرارة ذات تأثير جوهري بينما في مستوى آخر لا يكون هذا التأثير جوهرياً . وبالمثل يمكن تجزئ البيانات لكل من مستويات درجة الحرارة لاختبار تأثير مستوى الإضاءة عند كل درجة حرارة .

تقارین (۸ - ۳)

في دراسة استهلاك الأكسجين لسلالتين من الحيوانات الصدفية عند ثلاثة تركيزات لماء البحر أخذت ٤ قراءات لكل مركب من السلالة وتركيز الماء (الملوحة) وسجلت القراءات بمقياس معين في الجدول الآتي :

المجموع	السلالة		الملوحة
	(٢)	(١)	
٦٢,٣٦	٦,١٤	٧,١٦	%١٠٠
	٣,٨٦	٦,٧٨	
	١٠,٤٠	١٣,٦٠	
	٥,٤٩	٨,٩٤	
٥٥,٨٧	٢٥,٨٩ = Σ	٣٦,٤٧ = Σ	%٧٥
	٤,٤٧	٥,٢٠	
	٩,٩٠	٥,٢٠	
	٥,٧٥	٧,١٨	
٩٣,٣٠	١١,٨٠	٦,٣٧	%٥٠
	٣١,٩٢ = Σ	٢٣,٩٥ = Σ	
	٩,٦٣	١١,١١	
	٦,٣٨	٩,٧٤	
٢١١,٥٣	١٣,٤٠	٢٨,٨٠	المجموع
	١٤,٥٠	٩,٧٤	
	٤٣,٩١ = Σ	٤٩,٣٩ = Σ	
	١٠١,٧٢	١٠٩,٨١	

- (١) اختبر الفرض أن استهلاك الأوكسجين لا يختلف باختلاف السلالة .
- (٢) اختبر الفرض أن استهلاك الأوكسجين لا يختلف باختلاف الملوحة .
- (٣) اختبر تأثير تفاعل السلالة والملوحة على استهلاك الأوكسجين .

(نخذ $\alpha = 0,05$)

(٨ - ٧) المقارنات التزاوجية : PAIRED COMPARISONS

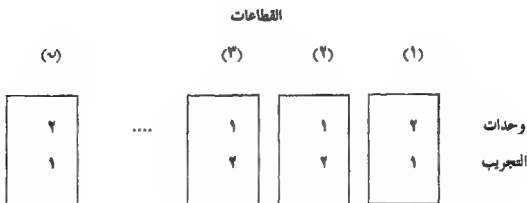
المفروض في التجارب ذوات العامل الواحد أن تكون وحدات التجريب في مختلف أقسام المعالجة متجانسة بقدر الإمكان ، وذلك لكي تكون الفروق في استجابات هذه الوحدات لمستويات العامل راجعة فقط للفروق بين هذه المستويات . أما إذا كانت الوحدات غير متجانسة فإن هذا يتيح الفرصة لاختلافات عشوائية قد تكون من الكبر بحيث تؤدي إلى اختفاء الفروق الحقيقية في تأثيرات تلك المستويات كما سنرى في المثال (٨ - ٨) القادم .

غير أن متطلب التجانس هذا قد يفرض قيوداً عنيفة على عدد الوحدات التي تحتاجها الدراسة ، فمثلاً لمقارنة نوعين من المسكنات لمرض ما المفروض أن يكون المرضي من نفس الجنس ومن نفس العمر والظروف الصحية وشدة الألم الناتج عن المرض ... ومن الواضح أنه من الصعب عملياً الحصول على عدد كاف من المرضى الذين يشتركون في هذه الخواص . وحتى إذا أمكن الحصول على مجموعة بهذه الأوصاف فإن دراسة مثل هذه المجموعة الخاصة تكون دراسة ضيقة وتكون النتائج قاصرة على مجموعة المرضى الذين يتصفون بهذه الصفات الخاصة ، والأفضل أن تشمل الدراسة مجالا أوسع لكي تكون النتائج أكثر عمومية ، وذلك بتجريب نوعي المسكنات على مختلف المرضى بذلك المرض نأخذهم عمداً من الجنسين ومن مختلف المجموعات العمرية والظروف الصحية .

ومن الضروري إذا إيجاد حل وسط بين متطلب التجانس في وحدات التجريب ومتطلب تنويع هذه الوحدات ، وهما متطلبان متعارضان .

وقد وجد الحل بتصميم تجارب تعرف بتجارب القطاعات كاملة التعشية randomized complete blocks (كلمة كاملة تعني أن كل مستوى من مستويات العامل يظهر نفس العدد من المرات في كل قطاع) . وسنهم هنا بحالة خاصة من هذه التجارب تعرف بالمقارنات التراجوية وهى الحالة التي يكون فيها عامل التجريب ذا مستويين فقط ($k = 2$) وسميت تراجوية لأن كل وحدة من وحدات التجريب تتلقي أحد المستويين ، تتزوج مع وحدة مماثلة تتلقي المستوى الآخر . على أن الأسلوب الذى نتبعه في تناول وتحليل هذه الحالة يمتد إلى الحالات التي يكون فيها لعامل التجريب أكثر من مستويين .

والطريقة الإجرائية لهذه التجارب تعتمد على وضع وحدات التجريب مثني مثني في قطاعات يتألف كل منها من وحدتين تتلقي إحداهما المستوى الأول وتتلقي الأخرى المستوى الثاني ، بشرط أن تكون الوحدتان في كل قطاع متشابهتين - بل قد تكون نفس الوحدة تعالج مرتين في وقتين مختلفين - وبشرط أن يكون توزيع المستويين على الوحدتين عشوائياً (مثلاً بإلقاء قطعة من العملة) في كل قطاع على حدة . أما الوحدات في القطاعات المختلفة فقد تكون متشابهة أو غير متشابهة .



إن هذا الإجراء يصون فعالية المقارنة داخل كل قطاع ويسمح في الوقت ذاته بتعدد الظروف بين مختلف القطاعات ، ويمكن النظر إلى الاستجابة في أى وحدة تجريبية على أنها مؤلفة من ثلاثة عناصر هي :

- (أ) تأثير مستوى المعالجة لعامل التجريب .
- (ب) تأثير الظروف داخل القطاعات (ويعتبر عاملاً ثانياً) .
- (ج) مركبة عشوائية .

وتوضع استجابات وحدات التجريب كما يلي حيث S_r ، V_r ترمزان إلى الاستجابات في القطاع r للمستوى الأول والمستوى الثاني على الترتيب .

القطاع	المستوى الأول	المستوى الثاني
(١)	S_1	V_1
(٢)	S_2	V_2
(٣)	S_3	V_3
....
(ن)	S_n	V_n

بهذا التصور نكون بصدد حالة خاصة للتجارب ذوات العاملين غير المتفاعلين ، وبالتالي تسير عملية تحليل التباين كما في البند (٨ - ٦ - ١) السابق .

مثال (٨ - ٨) :

أراد باحث أن يعرف ما إذا كان عرض الجزء الأسفل من وجه البنات أكبر في سن السادسة منه في سن الخامسة ، فاختار عينة عشوائية من ١٥ بنتاً وقاس عرض الوجه وهن في الخامسة ثم أعاد القياس بعد عام ، وسجلت الأطوال بالستيمتر كما يلي :

جدول (٨ - ١٠)

الأفراد (القطاعات)	(١) ٥ سنوات	(٢) ٦ سنوات	م
(١)	٧,٣٣	٧,٥٣	١٤,٨٦
(٢)	٧,٤٩	٧,٧٠	١٥,١٩
(٣)	٧,٢٧	٧,٤٦	١٤,٧٣
(٤)	٧,٩٣	٨,٢١	١٦,١٤
(٥)	٧,٥٦	٧,٨١	١٥,٣٧
(٦)	٧,٨١	٨,٠١	١٥,٨٢
(٧)	٧,٤٦	٧,٧٢	١٥,١٨
(٨)	٦,٩٤	٧,١٣	١٤,٠٧
(٩)	٧,٤٩	٧,٦٨	١٥,١٧
(١٠)	٧,٤٤	٧,٦٦	١٥,١٠
(١١)	٧,٩٥	٨,١١	١٦,٠٦
(١٢)	٧,٤٧	٧,٦٦	١٥,١٣
(١٣)	٧,٠٤	٧,٢٠	١٤,٢٤
(١٤)	٧,١٠	٧,٢٥	١٤,٣٥
(١٥)	٧,٦٤	٧,٧٩	١٥,٤٣
م س محرر س س	١١١,٩٢ ٧,٤٦ ٨٣٦,٣٣	١١٤,٩٢ ٧,٦٦ ٨٨١,٨٣٠٤	٣٠ = ٢٢٦,٨٤ = س = ٧,٥٦ محرر س = ١٧١٨,١٦٠٤

لدينا عامل تجريب واحد هو العمر وهذا العامل له مستويان هما ٥ سنوات ، ٦ سنوات ونريد المقارنة بين متوسطى عرض الوجه في هذين المستويين . وتحسباً لوجود فروق بين أفراد العينة فإننا ندخل هؤلاء الأفراد كعامل ثان مع ملاحظة أن كل فرد يمثل

قطاعاً خضع لكل من مستويي العامل : وعلى أساس عدم وجود تفاعل بين العاملين
نسير في تحليل التباين كما في البند (٨ - ٦ - ١) لنجد ما يلي :

$$٢٢ (الكلي) = ١٧١٨,١٦٠٤ - \frac{٢٢٢٨٤}{٣} = ١٧١٥,٢١٢٨ - ١٧١٨,٦٠٤$$

$$٢,٩٤٧٦ = \text{حيث } p = ٢٩$$

$$م م (بين العمرين) = \frac{٢١١١,٩٢ + ٢١١٤,٩٢}{١٥} - ١٧١٥,٢١٢٨$$

$$١٧١٥,٥١٢٨ - ١٧١٥,٢١٢٨ =$$

$$٠,٣٠٠٠ = \text{حيث } p = ١$$

$$م م (بين الأفراد) = \frac{٢١٤,٨٦ + ٢١٥,١٩ + ٠٠٠ + ٢١٥,٤٣}{٢} - ١٧١٥,٢١٢٨$$

$$٧١٧,٨٤٩٦ - ١٧١٥,٢١٢٨ =$$

$$٢,٦٣٦٨ = \text{حيث } p = ١٤$$

$$م م (الخطأ) = (٢,٦٣٦٨ + ٠,٣٠٠٠) - ٢,٩٤٧٦ =$$

$$٠,٠١٠٨ = \text{حيث } p = ١٤$$

جدول (٨ - ١١)

مصدر التباين	م م	p	تقدير التباين	ف
بين العمرين	٠,٣٠٠٠	١	٠,٣٠٠٠	٢٨٩,١١
بين الأفراد	٢,٦٣٦٨	١٤	٠,١٨٨٣	٢٤٢,٠٢
الخطأ	٠,٠١٠٨	١٤	٠,٠٠٠٧	
الكلي	٢,٩٤٧٦	٢٩		

الاستنتاج :

- (١) نسبة التباين للأعمار ذات دلالة عالية لأن $F_{0.01} [١٤, ١] = ٠.٠٠١$ أصغر من ٩ ، مما يجعلنا نستنتج أن عرض وجه البنات في سن السادسة أوسع منه في سن الخامسة .
- (٢) كما أن الفروق بين أفراد العينة ذات دلالة عالية لأن $F_{0.01} [١٤, ١٤] = ٠.٠٠١$ أصغر من ٠.٤

ملاحظة (١١) :

إذا كنا لم ندخل في اعتبارنا الاختلافات بين أفراد العينة وأجرينا عملية تحليل التباين على أساس أن لدينا تجربة ذات عامل واحد كما في البند (٨ - ٤) نحصل على جدول التباين الآتي :

جدول (٨ - ١٢)

مصدر التباين	٢٢	٧	تقديرات التباين	ف
بين العمرين	٠,٣٠٠٠	١	٠,٣٠٠٠	٣,١٧
الخطأ	٢,٦٤٧٦	٢٨	٠,٠٩٤٦	
الكل	٢,٩٤٧٦	٢٩		

وهنا نجد أن نسبة التباين للأعمار ليست ذات دلالة مما يشير إلى عدم وجود فرق بين عرض الوجه في العمرين الخامسة والسادسة . وهذه النتيجة خاطئة وتخالف ما توصلنا إليه من قبل والسبب في ذلك عدم تجانس أفراد العينة ووجود فروق

بينهن نشأ عنه اختلافات كبيرة كان يجب أن تستبعد ولكنها أضيفت إلى الاختلاف العشوائي فتضخم مجموع مربعات الخطأ وهذا بدوره دخل في مقام نسبة التباين فجعل هذه النسبة أصغر من أن تكون ذات دلالة ، وبالتالي اختفي الفرق بين مستويي عامل التجريب .

إن للمقارنات التزاوجية تطبيقات عديدة في مختلف ميادين البحث العلمي خاصة عند القياس أو الاختبار المتكرر لنفس المجموعة بعد فترة ما أو بعد حدث ما حيث يجرى القياس « قبل وبعد » هذه الفترة أو هذا الحدث . ومن أمثلة ذلك اختبار قوة عضلات مجموعة من الأفراد ثم تعريضهم لتدريبات رياضية عنيفة ثم اختبار قوة عضلاتهم مرة أخرى . كذلك قياس خاصية ما لمجموعة من الكائنات الحية أو الأفراد ثم قياس هذه الخاصية لنفس المجموعة بعد مرحلة ما كما في المثال (٨ - ٨) الأخير .

كذلك تنتج المقارنات التزاوجية عند تقسيم وحدة ما إلى نصفين يتلقى أحدهما أحد مستويي عامل ما ويتلقى النصف الآخر المستوى الثاني الذي يمكن أن يكون مستوى المراقبة . وكمثال لذلك اختبار قوة نوعين من المضادات الحيوية يحقن أحدهما في الذراع الأيمن والآخر في الذراع الأيسر لنفس الشخص ثم قياس قطر البقع الحمراء الناتجة في كل من الحالتين .

ومن التصميمات التي تؤدي إلى مقارنات تزاوجية أيضاً إعطاء معالجتين إلى شخصين يشتركان في خبرة واحدة سواء كانت خبرة وراثية أو بيئية ، كإعطاء دواء إلى مجموعة من التوائم أو الأشقاء يتلقى أحدهما الدواء ولا يتلقاه الآخر (مجموعة مراقبة) .

(٨ - ٧ - ١) اختبارات للمقارنات التزاوجية :

ذكرنا في الملاحظة (٤) بالبند (٨ - ٤) أننا حين نتناول عاملاً ذا مستويين (٢ = ٢) يمكن أن نستخدم اختبارات للمقارنة بين متوسطي هذين المستويين

وتكون النتيجة التي نحصل عليها من هذا الاختبار مطابقة تماماً للنتيجة التي نحصل عليها من تحليل التباين . غير أن الإحصاءة التي مرت بنا بالبند (٦ - ٦ - ٣) لا تصلح لهذا الغرض في حالة المقارنات التزاوجية لأن أحد شروط استخدام تلك الإحصاءة استقلال المجموعتين بينما نحن هنا بصدد مجموعتين مرتبطتين بل هما نفس المجموعة . أما الإحصاءة التي تصلح لذلك فتأخذ الصورة الآتية :

$$ت = \frac{(\mu_1 - \mu_2) - \bar{F}}{\sigma_c / \sqrt{n}} \quad \text{بدرجات حرية } \nu = n - 1 \quad (١٣)$$

$$\text{حيث } \bar{F}_1 = \bar{S}_1 - \bar{S}_2$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum \bar{F}_i = \frac{1}{n} \sum (\bar{S}_1 - \bar{S}_2)$$

= متوسط الفروق بين استجابات المستويين

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{n-1} \sum (\bar{F}_i - \bar{F})^2 = \text{تباين الفروق } \bar{F}_i$$

$$(١٤) \quad = \frac{1}{n-1} \sum \left[\bar{F}_i^2 - \frac{(\sum \bar{F}_i)^2}{n} \right]$$

مع ملاحظة أن σ_c / \sqrt{n} هو الخطأ المعياري لمتوسط الفروق مقدراً من العينة. والاختبار الذي نجريه باستخدام الإحصاءة (١٣) يعطى نتيجة مطابقة تماماً لما تعطيه طريقة تحليل التباين إلا أنه لا يزودنا بمقياس لتباين القطاعات (الصفوف) . وفي المثال (٨ - ٨) الأخير يمكننا الحل كما يلي :

الجدول (٨ - ١٣)

الأفراد	ن = س - ص	ن'	الأفراد	ن = س - ص	ن'
١	٠,٢٠	٠,٠٤	٩	٠,١٩	٠,٠٣٦١
٢	٠,٢١	٠,٠٤٤١	١٠	٠,٢٢	٠,٠٤٨٤
٣	٠,١٩	٠,٠٣٦١	١١	٠,١٦	٠,٠٢٦٥
٤	٠,٢٨	٠,٠٧٨٤	١٢	٠,١٩	٠,٠٣٦١
٥	٠,٢٥	٠,٠٦٢٥	١٣	٠,١٦	٠,٠٢٥٦
٦	٠,٢٠	٠,٠٤	١٤	٠,١٥	٠,٠٢٢٥
٧	٠,٢٦	٠,٠٦٧٦	١٥	٠,١٥	٠,٠٢٢٥
٨	٠,١٩	٠,٠٣٦١			
				٣,٠٠	٠,٦٢١٦

$$\overline{ف} = \frac{٣}{١٥} = ٠,٢٠ \text{ من المستمتر}$$

$$ع' = \frac{١}{١٤} (٠,٦٢١٦ - \frac{١}{١٥}) = ٠,٠١٥٤٣$$

$$ع = ٠,٠٣٩٢٨١٠$$

$$ع' / \sqrt{ن} = \frac{٠,٠٣٩٢٨١٠}{\sqrt{١٥}} = ٠,٠١٠١٤٢٣$$

الفرض الصفري $ف: \mu = \mu_١$

الفرض الآخر $ف: \mu < \mu_١$

بحساب قيمة الإحصاءة (١٣) من بيانات العينة (وعلى أساس صحة الفرض الصفري) نجد أن

$$ت = \frac{0.20 - 0}{0.1014} = 19.724^{**} \quad \text{بدرجات حرية عددها } 14$$

وهذه القيمة ذات دلالة عالية مما يجعلنا نرفض الفرض الصفري ونستنتج أن عرض وجه البنات أوسع في سن السادسة منه في سن الخامسة .

ملاحظات :

(١) يمكن أن نثبت رياضياً أن مربع قيمة المتغيرات عند درجة الحرية n يساوي قيمة المتغير F عند درجتى الحرية (١ ، n) . ففى المثال الأخير نجد أن : $ت^2 = 389.036 = 19.724^2$. وهذا العدد يساوى العدد $F_{0.05, 1, 14} = 389.11$ الذى ظهر بالجدول (٨ - ١١) فيما عدا الفرق الناشئ عن عمليات التقريب .

(٢) فى مثل هذه الحال يكون لدينا متغيران غير مستقلين $ص$ ، $صه$ ، إلا أننا فى استخدام الإحصاءة (١٣) نعتبر أن لدينا متغيراً واحداً F حيث $ف = س - ص$. ولما كان المتغيران $ص$ ، $صه$ هما متغيران معتدلان متوسطاهما $م$ ، $مه$ ونبايناهما σ^2 ، σ_v^2 على الترتيب ، فإن المتغير F يكون متغيراً معتدلاً متوسطه $م - مه$ وهذا المتوسط ينعدم إذا كان الفرض الصفري صحيحاً . أما التباين σ^2 فنقدره من العينة بالمقدار σ^2 المعروف فى (١٤) بصرف النظر عن تساوى أو عدم تساوى التباينين σ^2 ، σ_v^2 . أى أننا فى استخدامنا للإحصاءة (١٣) لا نكون بحاجة لفرض تساوى هذين التباينين .

(٣) إن حدى الثقة بدرجة $1 - \alpha$ للفرق $م - مه$ بين متوسطى مجتمعى المتغيرين $ص$ ، $صه$ هما (بالأسلوب المعتاد) :

$$\bar{F} \pm \frac{t_{\alpha/2}}{\sqrt{n}} \quad (١٥)$$

ففى المثال الأخير نجد أن حدى الثقة بدرجة ٩٩٪ للفرق بين متوسط عرض وجه البنات فى سن السادسة ومتوسط عرضه فى سن الخامسة هما
 $0.20 \pm 0.01014 \times 2.977$ أى ٠,١٧٠ ، ٠,٢٣٠ من الستيمترات

تمارين (٨ - ٤)

١ - أراد طبيب باحث أن يقرر ما إذا كان تعاطى قرص من مادة معينة يحدث تأثيراً جانبياً غير مرغوب فيه من حيث تخفيض ضغط الدم . وقد بدأت التجربة بقياس ضغط الدم لعينة عشوائية من ١٥ فرداً ثم إعطاء الأقراص لأفراد هذه العينة ، وانتهت بقياس ضغط الدم مرة أخرى بعد فترة معينة . سجلت القياسات كما يلى حيث س تعبر عن الضغط قبل تعاطى القرص ، ص تعبر عن الضغط لنفس الشخص بعد تعاطى القرص .

الفرد :	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)	(١٠)	(١١)	(١٢)	(١٣)	(١٤)	(١٥)
س :	٧٠	٨٠	٧٢	٧٦	٧٦	٧٦	٧٢	٧٨	٨٢	٦٤	٧٤	٩٢	٧٤	٦٨	٨٤
ص :	٦٨	٧٢	٦٢	٧٠	٥٧	٦٦	٦٨	٥٢	٦٤	٧٢	٧٤	٦٠	٧٤	٧٢	٧٤

هل هذه البيانات تؤدى إلى الحكم بأن للأقراص تأثيراً فى تخفيض ضغط الدم ؟
استخدم كلا من طريقة تحليل التباين واختبارات وقارن بين النتيجةين .

٢ - كان أحد الأطباء يشك فى أن الميزان الذى يزن به المرضى فى عيادته يعطى قراءات أعلى من القراءات التى يجدها المرضى عند استخدامهم للموازين التى فى منازلهم . ولاختبار ذلك طلب الطبيب من عشرة مرضى تسجيل أوزانهم بملابسهم الكاملة قبل مغادرتهم منازلهم إلى عيادته ثم قام بوزنهم فور وصولهم فحصل على البيانات الآتية حيث س تعبر عن الوزن فى العيادة ، ص تعبر عن الوزن بالمنزل

س :	١٥٣	١٤٦	٢٠٧	١٧٣	١٢٧	١١٢	١٨١	١٣٢	١٣٩	٢١٣
ص :	١٥٠	١٤٧	٢٠٣	١٧١	١٢٩	١١٠	١٧٩	١٣٢	١٣٨	٢١٠

اختبر ما إذا كان الطبيب محققاً في شكه وأوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للفرق بين نوعي الوزن .

(٨ - ٨) التجارب ذوات الثلاثة العوامل (في مربع لاتيني)

LATIN SQUARES

إن المشكلة الأساسية في تناول التجارب ذوات الثلاثة العوامل هي أنها تحتاج إلى عدد كبير من وحدات التجريب وينبغي البحث حينئذ عن تصميمات توفر في عدد هذه الوحدات ، وفكرة المربع اللاتيني تحقق هذا التوفير وتعطي مثلاً جيداً لأهمية اختيار التصميم الكفء أى الذى يعطى نتائج كثيرة بأقل قدر من الجهد التجريبي .

والمربع اللاتيني من الرتبة L هو تنظيم لحروف $a, b, c, \dots, j, \dots, L$ عددها L على هيئة مصفوفة مربعة ($L \times L$) يشترط فيها أن يقع كل حرف مرة واحدة بالضبط في كل صف ومرة واحدة بالضبط في كل عمود ، وبذلك يظهر كل حرف L بالضبط من المرات . المصفوفات الآتية هي أمثلة لمربعات لاتينية ذوات الرتب الثالثة والرابعة والخامسة ، علماً بأنه يمكن كتابة أى منها بصور أخرى مختلفة .

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
b	c	d	e	f	g	h	i	j	a
c	d	e	f	g	h	i	j	a	b
d	e	f	g	h	i	j	a	b	c
e	f	g	h	i	j	a	b	c	d
f	g	h	i	j	a	b	c	d	e
g	h	i	j	a	b	c	d	e	f
h	i	j	a	b	c	d	e	f	g
i	j	a	b	c	d	e	f	g	h
j	a	b	c	d	e	f	g	h	i

في أى مربع لاتيني لدينا أعمدة يمكن أن تمثل عناصرها مستويات عامل ما ،

وصفوف يمكن أن تمثل عناصرها مستويات عامل ثان ، ولدنيا أيضاً حروف ا ، ب ، ج ، د ، ... يمكن أن تمثل مستويات عامل ثالث . ولذلك تصلح المربعات اللاتينية لدراسة التجارب ذوات الثلاثة العوامل بطريقة تعد امتداداً للطريقة التي استخدمناها بالبند-(٨ - ٦ - ١) . وبالإضافة إلى الشروط المعتادة ، ينبغي توفر الشرطين الآتين لاستخدام المربعات اللاتينية :

١ - أن يتساوى عدد مستويات كل من العوامل الثلاثة ، وبذلك يكون عدد الأعمدة = عدد الصفوف = عدد الحروف = ل ، ويكون عدد وحدات التجريب هو $n = l^2$.

٢ - ألا يكون هناك تفاعلات بين العوامل الثلاثة ، لأن هذا التصميم لا يقيس التفاعل نظراً لأن هناك مشاهدة واحدة فقط في كل خلية .

(يحسن ألا تستخدم المربعات اللاتينية التي تقل رتبها عن خمسة لعدم وجود معلومات كافية عن مدى حساسية المربعات اللاتينية للانحراف ظروف التجربة عن الفروض الموضوعية) .

ولتحليل التباين من مربع لاتيني نوجد 2^2 (الكلى) ، 2^2 (بين الأعمدة) ، 2^2 (بين الصفوف) كما في البند (٨ - ٦ - ١) وبالنسبة للعامل الثالث نوجد الاختلاف الناشئ عنه من الصيغة :

$$2^2 \text{ (الحروف)} = \frac{\sum_{j=1}^l x_{ij}^2}{l} - \frac{\sum_{i=1}^l x_i^2}{n}$$

حيث x_{ij} هو مجموع القيم المرتبطة بالحرف s ($s = 1, 2, 3, \dots, h$) . أما 2^2 (الخطأ) فيحسب بطرح مجموع الاختلافات الناشئة عن العوامل الثلاثة من الاختلاف الكلى .

مثال (٨ - ٩) :

لاختبار تأثير ٣ عوامل على المحصول وهي تأثير اختلاف الأسمدة (٥ أنواع) وتأثيرا اختلاف التربة في اتجاهين متعامدين ، قسمت قطعة أرض إلى ٢٥ حوضاً متساوية المساحة ومرتبطة في ٥ صفوف موازية لأحد الاتجاهين ، ٥ أعمدة موازية للاتجاه المتعامد عليه ، ثم وزعت الأنواع الخمسة من الأسمدة عشوائياً على الأحواض بحسب خطة مربع لاتيني من الرتبة الخامسة ، ونتج المربع اللاتيني الآتي حيث تشير الحروف إلى الأسمدة وتشير الصفوف والأعمدة إلى الاتجاهين المتعامدين وتشير الأعداد إلى الكميات الناتجة من المحصول (مطروح ١٠ من كل منها) والمطلوب بحث تأثير كل من هذه العوامل الثلاثة .

٢	١	٢	٣	٤	٥
١,٦-	أ ٢,٦-	د ١,١-	هـ ٤,٢-	ب ٢,٠	ح ٤,٣
٧,٥-	١,٨ ح	٣,٥- ب	١,٣- أ	٢,٤- هـ	٢,١- د
٢,٦	٠,١ د	٧,٩ ح	١,٠- ب	١,٥- أ	٢,٩- هـ
٣,١	١,٢- هـ	٠,١ أ	٥,٧ ح	١,١ د	٢,٦- ب
١٣,٤	١,٨ ب	١,٢- هـ	٤,٣ د	٨,٤ ح	٠,١ أ
١٠=	٠,١-	٢,٢	٣,٥	٧,٦	٣,٢-

الحل :

بالنسبة للأسمدة (الحروف) نجد أن المجاميع ٢ كما يلي :

كس : أ = ٥,٢- ، ب = ٣,٣- ، ج = ٢٨,١ ، د = ٢,٣ ، هـ = ١١,٩-

$$\text{م م (الكل)} = \frac{\text{م م س}^2}{\text{ن}} - \frac{\text{م م}^2}{\text{ن}}$$

$$٢٤ = \text{حيث ج} , ٢٨١,١٨ = \frac{١٠٠}{٢٥} - ٢٨٥,١٨ =$$

$$\text{م م (بين الأعمدة)} = \frac{\text{م م}^2}{\text{ن}} - \frac{\text{م م}^2}{\text{ج}}$$

$$٤ = \text{حيث ج} , ١٣,٠٢ = ٤ - ١٧,٠٢ =$$

$$\text{م م (بين الصفوف)} = \frac{\text{م م}^2}{\text{ن}} - \frac{\text{م م}^2}{\text{ج}}$$

$$٤ = \text{حيث ج} , ٤٦,٩٥ = ٤ - ٥٠,٩٥ =$$

$$\text{م م (بين الأعمدة)} = \frac{\text{م م}^2}{\text{ن}} - \frac{\text{م م}^2}{\text{ج}}$$

$$٤ = \text{حيث ج} , ١٩٠,٨٩ = ٤ - ١٩٤,٨٩ =$$

$$\text{م م (الخطأ)} = (١٩٠,٨٩ + ٤٦,٩٥ + ١٣,٠٢) - ٢٨١,١٨ =$$

$$١٢ = ١٢ - ٢٤ = \text{حيث ج} , ٣٠,٣٢ =$$

$$\text{ف} [١٢, ٤] , ٣,٣٦ = \text{ف} [١٢, ٤] , ٥,٤١ =$$

الاستنتاج : انظر الجدول (٨ - ١٤) .

(١) الاختلاف الناشئ عن الأعمدة ذو دلالة عالية .

(٢) الاختلاف الناشئ عن الأعمدة ليس له دلالة عند المستوى ٠,٠٥ .

(٣) الاختلاف الناشئ عن الصفوف ذو دلالة عند المستوى ٠,٠٥ وليس ذو

دلالة عند المستوى ٠,٠١

جدول (٨ - ١٤)

مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية	تقدير التباين	ف
بين الأعمدة	١٣,٠٢	$4 - 1 = 3$	٣,٧٥٥	١,٣
بين الصفوف	٤٦,٩٥	$4 - 1 = 3$	١١,٧٣٧	٤,٦
بين الأعمدة	١٩٠,٨٩	$4 - 1 = 3$	٤٧,٧٢٢	١٨,٩
خطأ	٣٠,٣٢	$12 - (3-1) - (3-1) = 12$	٢,٥٢٧	
المجموع	٢٨١,١٨	٢٤ حل - ١		

تمارين (٨ - ٥)

(١) في دراسة في أبحاث السوق كان المطلوب اختبار تأثير ثلاثة عوامل على مبيعات نوع معين من الغذاء في قطر ما وهذه العوامل هي :

- (١) طرق التفتيش - ٤ مستويات : أ ، ب ، ج ، د
- (٢) المناطق المختلفة في القطر - ٤ مستويات .
- (٣) طرق التشجيع على الشراء - ٤ مستويات : نسبة تخفيض ، يانصيب ، كوپونات ، هدايا .

وقد أجريت تجربة باستخدام تصميم مربع لاتيني من الرتبة الرابعة وسجلت المبيعات في أسبوع بعشرات الآلاف من الدولار كالآتي :

الناطق	تخفيض	بالتصيب	كوبونات	هدايا	المجموع
(١)	أ ٤٨	ب ٣٨	ج ٤٢	د ٥٣	١٨١
(٢)	ب ٣٩	ج ٤٣	د ٥٠	أ ٥٤	١٨٦
(٣)	ج ٤٢	د ٥٠	أ ٤٧	ب ٤٤	١٨٣
(٤)	د ٤٦	أ ٤٨	ب ٤٦	ج ٥٢	١٩٢
المجموع	١٧٥	١٧٩	١٨٥	٢٠٣	٧٤٢

$$\text{ع} = ١٩٧ \text{ ب} = ١٦٧ \text{ ج} = ١٧٩ \text{ د} = ١٩٩$$

ابحث دلالة تأثير كل من العوامل الثلاثة .

(٢) في المثال (٨ - ٩) أثبت أن الخطأ المعياري

$$\text{ع} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2}{n}} \text{ للفرق بين متوسطين هو } ١,٠٠٥$$

ومن ثم بين أن الفرق الذي يقل عن ٢,٢ بين أى متوسطين لا يكون ذا دلالة عند المستوى ٠,٠٥ ومن ثم برهن أن :

(أ) متوسط المحصول الناتج من السماد ج أكبر جوهرياً من ذلك الناتج من أى نوع آخر من السماد .

(ب) متوسط المحصول الناتج من السماد د أكبر جوهرياً من ذلك الناتج من السماد هـ .

(٨ - ٩) معالجة الانحرافات عن افتراضات التحليل :

إن سلامة ما نجره من تحليل وما نخرج به من نتائج تتوقف على توفر الافتراضات المذكورة في البند (٨ - ٤ - ١) . ولكن ماذا يكون موقفنا إذا لم تكن بعض هذه الافتراضات مستوفاة ؟ هذا ما سناقشه كما يلي :

(أ) افتراض الاعتدالية :

إن افتراض اعتدال المجتمعات التي نتناولها في تحليل التباين هو افتراض رئيسي . ولكن نظرا لأننا في هذا التحليل (بالتمودج ثابت التأثيرات) نبحث في الفروق بين المتوسطات فإن هذا الافتراض يمكن أن نتجمل منه دون خطورة بشرط أن تكون العينات كبيرة كبرا كافيا (أى لا يقل حجم كل منها عن ٣٠) . وذلك لأنه حسب نظرية النهاية المركزية - انظر ملاحظة البند (٦ - ٣) - إذا كانت الاستنتاجات المتعلقة بالأوساط الحسابية صحيحة حين تكون المجتمعات معتدلة فإنها تظل صحيحة حين تكون المجتمعات غير معتدلة بشرط أن تكون العينات كبيرة كبرا كافيا . وكلما اشتد انحراف المجتمع عن الاعتدالية كلما وجب علينا زيادة حجم العينات .

(ب) افتراض تساوى التباينات :

يتضمن الافتراض الثانى من افتراضات تحليل التباين أن تكون مجتمعات أقسام أو مستويات عامل التجريب متساوية التباين . يمكن التجاوز عن هذا الافتراض بشرط أن تكون العينات متساوية الحجم لأنه في هذه الحال لا يكون التحليل حساسا للانحرافات الصغيرة عن افتراض تساوى التباينات . أما إذا لم تكن العينات متساوية الحجم فإن اختلاف تباينات مجتمعاتها يكون ذا عواقب وخيمة على صحة الاستنتاج . ولهذا يفضل سحب عينات متساوية الحجم كلما أمكن ذلك .

(ج) افتراض استقلال الأخطاء :

يتطلب الافتراض الثالث أن تكون أخطاء التجريب مستقلة عن بعضها وعن مستويات المعالجة ، وهذا أمر بالغ الأهمية لسلامة استخدام اختبار ف في تحليل التباين . وعدم توفر هذا الشرط يمكن أن يؤدي إلى خطأ جسيم في الاستنتاج . ولذلك وجب اتخاذ القدر الكافي من الحيلة في عملية التجريب بحيث نضمن استقلال المشاهدات داخل وبين المجموعات ، ويساعدنا على ذلك تطبيق مبدأ العشوائية في كافة جوانب التجربة وقد سبق الإشارة إلى ذلك .

وفي كثير من الأحيان يمكن تصحيح بعض الانحرافات عن الفروض الموضوعية باستخدام أحد التحويلات المناسبة كالمذكورة في البند (٤ - ٥) . على أنه إذا فشلنا في توفير هذه الفروض فلا مفر من اللجوء في التحليل إلى أحد الطرق غير البارامترية التي سنتناولها في الفصل الرابع عشر .

(٨ - ١٠) عودة إلى مقارنة المتوسطات :

نعلم أن تحليل التباين ما هو إلا الخطوة الأولى لدراسة نتائج التجربة وأن الخطوة الثانية (في النموذج ثابت التأثيرات) هي مقارنة متوسطات أقسام المعالجة واختبار ما قد يكون بينها من فروق . ولقد قدمنا في البند (٨ - ٥) طريقة لاختبار هذه المقارنات في حالتها المقارنات القبلية والبعدية . ونقدم الآن أسلوباً أو مدخلاً آخر يسفر عن نفس الصيغ والاختبارات السابق تقديمها ولكن في صور مختلفة وبدلالة متغيرات أخرى ، وبالتالي يسفر عن نفس الاستنتاجات . على أن دراسة هذا المدخل تعمق مفهوم المقارنات وتضفي عليها معاني مفيدة . وفي هذا البند والبنود الثلاثة التالية نقدم بعض التعاريف الأساسية في هذا المدخل ونبدأ بالتعريف الآتي :

تعريف (١) : المقارنة (أو التضادة)

COMPARISON (or CONTRAST)

(أ) المقارنة بين متوسطات مجتمعات :

لتكن $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ متوسطات k من المجتمعات . ولتكن $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ أعدادا ثابتة ليست جميعها أصفارا . إن أى تعبير خطى ψ فى هذه المتوسطات :

$$\psi = \mu_1 \bar{x}_1 + \mu_2 \bar{x}_2 + \dots + \mu_k \bar{x}_k = \text{مجموع } \mu_i \bar{x}_i \quad (١٦)$$

يسمى مقارنة (خطية) بين متوسطات هذه المجتمعات إذا توفر الشرط الآتى :

$$\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k = \text{أى } \mu_i = 0$$

ويتضمن هذا الشرط أن تكون بعض المعاملات μ_i (وتسمى أوزانا) موجبة والبعض الآخر سالبة . والمعتاد اختيار هذه الأوزان فى أى مقارنة بحيث يكون مجموع الأوزان الموجبة مساويا للواحد وبالتالي يكون مجموع الأوزان السالبة مساويا للعدد -١ . وهذا الإجراء ممكن دائما وعييه أنه يجعل الأوزان فى صور كسرية فى أغلب المقارنات ولذلك لا يفضلها بعض الباحثين . ومن أمثلة المقارنات الخطية ما يلى :

$$\mu_1 - \mu_2, \mu_1 - \mu_3, \mu_1 - \mu_4, \mu_1 - \mu_5, \mu_2 - \mu_3, \mu_2 - \mu_4, \mu_2 - \mu_5, \mu_3 - \mu_4, \mu_3 - \mu_5, \mu_4 - \mu_5$$

(ب) المقارنة بين متوسطات عينات :

لتكن $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_k$ متوسطات k من العينات المأخوذة من

المجتمعات موضع الدراسة . ولتكن $1, 2, \dots, k$ ، أعدادا ثابتة ليست جميعها أصفارا . إن أى تعبير خطى $\hat{\psi}$ فى هذه المتوسطات :

$$\hat{\psi} = \psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_k \quad (17)$$

$$\text{حيث } \psi_i = 0 \quad (18)$$

يسمى مقارنة بين متوسطات هذه العينات .

ويمكن إثبات أن توفر الشرط (١٨) يجعل قيمة أى مقارنة بين متوسطات العينات مستقلة عن قيمة المتوسط العام $\bar{\psi}$ لهذه العينات . وهذا أمر هام لأننا فى مقارنة متوسطات المجتمعات ينبغي ألا يكون لمتوسطات العينات أى علاقة بقيمة $\bar{\psi}$ التى نستخدمها لتقدير المتوسط العام μ للمجتمع .

(ج) المقارنة بين مجاميع عينات

بالمثل ، لتكن $1, 2, \dots, k$ ، مجاميع k من العينات ولتكن $1, 2, \dots, k$ ، أعدادا ثابتة ليس جميعها أصفارا . إن أى تعبير خطى $\hat{\psi}$ فى هذه المجاميع :

$$\hat{\psi} = \psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_k \quad (19)$$

$$\text{حيث } \psi_i = 0$$

يسمى مقارنة بين مجاميع هذه العينات .

وفى تحليل التباين ، المعتاد استخدام المقارنات بين المجاميع وليس بين المتوسطات لأن ذلك يخفف من بعض عمليات القسمة والتقريب . غير أننا سنتناول هنا المقارنات بين المتوسطات لأننا أساسا ندرس هذه المتوسطات وبالتالى فإن تناولها يكون أكثر قدرة

على ما نريد توضيحه من مفاهيم . وعلى أية حال فإن ما سنقدمه من صيغ تخص المقارنات بين المتوسطات يمكن تحويلها إلى صيغ تخص المقارنات بين المجاميع بمجرد ضرب كل معامل h في الحجم N للعينة الخاصة به .

(يلاحظ أن رمز المقارنة \neq أو $\hat{=}$ هو عبارة عن عدد واحد لأنه لا يتركب من مجموع أعداد) .

إن أى تساؤل عن بعض أو كل متوسطات أقسام المعالجة يمكن وضعه في صورة مقارنة بين هذه المتوسطات ولا يستلزم الأمر إلا وضع وزن مناسب لكل متوسط بحيث يتحقق الشرط (١٨) ، مع ملاحظة إعطاء الوزن صفر للمتوسطات التي لا تدخل في المقارنة .

مثال (٨ - ١٠) :

في المثال (٨ - ١) كان لدينا خمسة أقسام حجم كل منها ١٠ ومتوسطاتها كالآتي :

(١) جلوكوز (٢) فركتوز (٣) جلوكوز + فركتوز (٤) سكروز (٥) مراقبة

٥٩,٣ ٥٨,٢ ٥٨ ٦٤,١ ٧٠,١

وفي الأمثلة (٨ - ٢) و (٨ - ٣) و (٨ - ٤) التابعة لهذا المثال كان المطلوب الإجابة عن التساؤلات القبلية الآتية :

(١) هل متوسط مجموعة السكريات الأربعة مجتمعة يختلف عن متوسط مجموعة المراقبة ؟

(٢) هل متوسط مجموعة السكريات النقية (١) و (٢) و (٤) مجتمعة يختلف عن متوسط السكر الخليط ؟

(٣) هل متوسطات مجموعات السكريات (١) و(٢) و(٤) واحدة ؟

إن هذه التساؤلات يمكن صياغتها على هيئة مقارنات بين المتوسطات كالآتي ،
مع ملاحظة أنه يمكن إعطاء أوزاناً أخرى تتناسب مع الأوزان المأخوذة هنا ومع
ملاحظة ضرورة توفر الشرط (١٨) :

$$\psi_1 = \mu_1 - \frac{1}{4}\mu + \frac{1}{4}\mu - \frac{1}{4}\mu + \frac{1}{4}\mu - \frac{1}{4}\mu = \mu_1 - \mu$$

$$\psi_2 = \mu_2 - \frac{1}{3}\mu + \frac{1}{3}\mu - \frac{1}{3}\mu + \frac{1}{3}\mu - \frac{1}{3}\mu = \mu_2 - \mu$$

أما التساؤل الثالث فيتضمن مقارنتين يمكن كتابتهما بصور مختلفة منها :

$$\psi_3 = \mu_3 - \mu$$

$$\psi_4 = \frac{1}{4}(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4) - \mu$$

وعادة ما نكتب المقارنات المناظرة بين متوسطات العينات في جدول كالآتي :

جدول (٨ - ١٥)

المقارنات المتعلقة بالأمثلة (٨ - ٢) و(٨ - ٣) و(٨ - ٤)

المقارنة	المتوسط				
	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)
	٥٩,٣	٥٨,٢	٥٨	٦٤,١	٧٠,١
١ : سكريات ضد مراقبة	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	١-
٢ : سكريات نقية ضد سكر مخلوط	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	١-	$\frac{1}{4}$	٠
٣ : جلوكوز ضد فركتوز	١	١-	٠	٠	٠
٤ : (جلوكوز+فركتوز) ضد سكروز	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	٠	١-	٠

من هذا الجدول يسهل إيجاد قيم المقارنات الأربع كالآتي :

$$\begin{aligned} 10,2 - &= 70,1 - (64,1 + 58 + 58,2 + 59,3) \cdot \frac{1}{4} = 1, \\ 2,0333 &= \text{صفر} + 58 - (64,1 + 58,2 + 59,3) \cdot \frac{1}{4} = 2, \\ 1,1 &= \quad \quad \quad \cdot + \cdot + \cdot + 58,2 - 59,3 = 3, \\ 0,35 \sim &= \quad \quad \quad \cdot + 64,1 - \cdot + (58,2 + 59,3) \cdot \frac{1}{4} = 4, \end{aligned}$$

(٨-١١) المقارنات القبلية :

كما سبق القول ، يفضل اختيار المقارنات القبلية بحيث تكون مستقلة إحصائياً عن بعضها ، وذلك لكي تكون المعلومات الناتجة من أى مقارنة ذات قيمة تخصها وحدها ولا تتداخل مع المعلومات الناتجة من أى مقارنة أخرى . ولذلك يهمن أن نعرف قاعدة نستدل بها على استقلال أو عدم استقلال المقارنات .

(٨ - ١١ - ١) معيار استقلال مقارنتين :

يمكن البرهنة رياضياً على النظرية الآتية :

لتكن $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_p$ هي k من المتغيرات العشوائية المستقلة التي لها توزيعات معدلة وتباين مشترك . ولتكن ψ_1 و ψ_2 هما المقارنتان :

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \pi_1 \pi_2 + \pi_1 \pi_3 + \dots + \pi_1 \pi_p \\ \psi_2 &= \pi_2 \pi_1 + \pi_2 \pi_3 + \dots + \pi_2 \pi_p \end{aligned}$$

يكون المتغيران العشوائيان ψ_1 و ψ_2 مستقلين إحصائياً إذا توفر الشرط الآتي :

$$\begin{aligned} \pi_1 \pi_2 + \pi_1 \pi_3 + \dots + \pi_1 \pi_p + \pi_2 \pi_1 + \pi_2 \pi_3 + \dots + \pi_2 \pi_p &= 0 \\ \text{أى} \quad \pi_1 \pi_2 + \pi_2 \pi_1 &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

(لاحظ أن هذا الشرط يعتمد فقط على الأوزان ولا يعتمد على المتغيرات) .

إن هذه النظرية تمنحنا قاعدة أو معيارا للكشف عن استقلال المقارنات . فإذا كان لدينا k من المجتمعات المعتدلة التي تشترك في التباين وسحبنا منها k من العينات المستقلة التي لها نفس الحجم فإنه تطبيقا لهذه النظرية تكون أى مقارنتين $\hat{\mu}_i$ و $\hat{\mu}_j$ بين متوسطات العينات مستقلتين إذا توفر الشرط (٢٠) .

ويقال لمقارنتين ينطبق عليهما معيار الاستقلال إنهما متعامدتان orthogonal . وتعامد مقارنتين هنا يعنى استقلالهما إحصائيا ، ولذلك تستخدم كلمتا « التعامد » و « الاستقلال » كمترادفتين ما دمنا نتعامل مع متغيرات مستقلة وتوزيعات معتدلة تشترك في التباين .

وحيث تكون العينات مختلفة الأحجام ، n_i ترمز إلى حجم العينة i فإن معيار الاستقلال يتخذ الصيغة الآتية :

$$S^2 = \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_k} \quad (21)$$

$$S^2 = \frac{1}{n_i} \quad \text{أى}$$

مثال (٨ - ١١) :

اختبر استقلال المقارنات المدونة بالجدول (٨ - ١٥) ، على فرض توفر شروط استقلال المتوسطات واعتدال المجتمعات وتساوى تبايناتها .

الحل :

بالجدول أربع مقارنات وإذن هناك $4 = 2 \times 2$ أزواج من المقارنات يراد اختبار استقلالها . ومع ملاحظة تساوى أحجام العينات نجد من الصيغة (٢٠) ما يلى :

$$\text{للمقارنتين } \hat{\mu}_1 \text{ و } \hat{\mu}_2 : \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = 0.25$$

وإذن هاتان المقارنتان مستقلتان .

$$\text{للمقارنتين } \hat{\psi}_1, \hat{\psi}_2 : \frac{1}{4} \times 1 + (1 - \frac{1}{4}) \times 0 = 0$$

وإذن هاتان المقارنتان مستقلتان .

بالمثل نجد أن الأزواج الأربعة الباقية مستقلة ، وبذلك تكون المقارنات الستة مستقلة 'مثنى مثنى' . تحقق من ذلك .

(٨ - ١١ - ٢) اختبار المقارنات القبلية :

يعتمد اختبار المقارنات القبلية على الحقيقتين الآتيتين اللتين يمكن إثباتهما رياضياً .

(أولاً) المقارنة $\hat{\psi}_1$ بين متوسطات العينات هي تقدير غير ممتحيز للمقارنة ψ_1 بين متوسطات المجتمعات التي أخذت منها العينات والتي تحمل نفس الأوزان .
(ثانياً) على فرض استقلال المتوسطات ، وإذا كان σ^2 هو التباين المشترك للمجتمعات فإن الخطأ المعياري للمقارنة $\hat{\psi}_1$ بين المتوسطات هو

$$\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \quad (٢٢)$$

حيث n_i حجم العينة i .
ونظراً لأن التباين σ^2 يكون عادة غير معروف فإننا نقدره من البيانات المشاهدة بنفس طريقة التقدير في تحليل التباين أى بواسطة $\hat{\sigma}^2$ وهو تباين خطأ التجريب . وبذلك يكون تقدير الخطأ المعياري للمقارنة $\hat{\psi}_1$ بين المتوسطات هو $\hat{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ حيث :

$$\hat{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} = \hat{\sigma} \quad (٢٣)$$

من هاتين الحقيقتين وحين تتوفر شروط اعتدالية المجتمعات وتساوى تبايناتها واستقلال المتوسطات - وهذا ما نفترضه عادة في تحليل التباين - فإنه حسب البند (٦ - ٦) يكون للإحصاءة

$$(٢٤) \quad \frac{\hat{\psi} - \psi}{\sigma^2} = T$$

توزيع T بدرجات حرية عددها هو عدد درجات حرية σ^2 والذي نرسم له بالرمز ν .

كما أنه من البند (٦ - ٦ - ٢) تكون الفترة

$$(٢٥) \quad (\hat{\psi} - \psi) \cdot \sigma^2 \cdot T_{[\alpha] \nu} \leq \hat{\psi} + \psi \cdot \sigma^2 \cdot T_{[\alpha] \nu}$$

هي فترة ثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ للمقارنة $\hat{\psi}$.

كل من اختبار T بالصورة (٢٤) والفترة (٢٥) يصلح لاختبار أى فرض عن قيمة المقارنة $\hat{\psi}$. وبالرغم من أن اختبار T هو أصلاً، كما نعلم، اختبار للفرق بين متوسطى عينتين مستقلتين أى للمقارنات التى على الصورة $\hat{\psi}_1 - \hat{\psi}_2$ إلا أنه يصلح هنا أيضاً لاختبار أى مقارنة مهما كان عدد المتوسطات الداخلة فيها. وهذا استثناء فى استخدام اختبارات السابق دراسته. وبالنسبة للفترة (٢٥)، إذا افترضنا قيمة معينة للمقارنة $\hat{\psi}$ ولم تقع هذه القيمة فى هذه الفترة فإننا، كالمعتاد، نرفض الفرض $\hat{\psi} = 1$ عند مستوى الدلالة α (اختبار ذو جانبيين).

وفى معظم الحالات يكون المطلوب اختبار الفرض الصفري $\hat{\psi} = 0$ ضد الفرض $\hat{\psi} \neq 0$. وفى هذه الحالة تأخذ الإحصاءة (٢٤) الصيغة الآتية:

$$(26) \quad \frac{\hat{\chi}^2}{\chi^2} = \text{ت} \quad \text{بدرجة حرية } \nu$$

$$(27) \quad \frac{\hat{\chi}^2}{\chi^2} = \text{أو الصيغة المكافئة ف} \quad \text{بدرجتى حرية ١ ، } \nu$$

وفي هذه الحالة أيضا نرفض الفرض الصفري $\chi^2 = 0$ عند مستوى الدلالة α إذا كانت الفترة (٢٥) لا تحتوى الصفر .

مثال (٨ - ١٢) :

أجب عن التساؤل الأول المطروح بالمثال (٨ - ١٠) مستخدما مستوى الدلالة ٠,٠١ مع تذكر أننا وجدنا في تحليل التباين أن تباين خطأ التجريب هو $\chi^2 = ٥,٤٦$ بدرجات حرية $\nu = ٤٥$ وأن كلا من المتوسطات بنى على ١٠ مشاهدات

الحل :

التساؤل المطلوب يشير إلى المقارنة χ^2 بين متوسط أقسام السكريات مجتمعة ومتوسط قسم المراقبة .

لفرض الصفري : $\chi^2 = 0$ والفرض الآخر $\chi^2 \neq 0$.
وجدنا أن $\chi^2 = ١٠,٢ -$

$$\text{ن (٢٣) : } \chi^2 = \chi^2_{\nu} = \frac{\chi^2}{\nu} \quad \text{حيث } \nu = ٤٥$$

$$= \frac{1}{1} \times ٥,٤٦ = \left[\left(\frac{1}{4} \right) + \left(\frac{1}{4} \right) + \left(\frac{1}{4} \right) + \left(\frac{1}{4} \right) \right] \times ٥,٤٦ = ٠,٦٨٢٥ =$$

$$\text{من (٢٧) : في } = \frac{(10,2-)}{0,6825} = 152,448$$

وبما أن ف (١٠,٢ ، ١٠,٢) = ٧,٣١ نرفض الفرض الصفري عند المستوى ٠,٠١ .
يلاحظ أن قيمة في الناتجة هي نفس قيمة في التي سبق أن توصلنا إليها في المثال
(٨ - ٢) .

ويمكن بطبيعة الحال استخدام اختبارات بالصيغة (٢٦) حيث نجد أن القيمة
التي تنتج تساوي الجذر التربيعي لقيمة في التي حصلنا عليها . كما يمكن
استخدام فترة الثقة (٢٥) كالآتي :

$$\text{الحد الأدنى للفترة} = 10,2 - 2,63 \times 0,6825 = 12,37 -$$

$$\text{الحد الأعلى للفترة} = 10,2 + 2,63 \times 0,6825 = 8,03 -$$

إذن الفترة (١٢,٣٧ - ، ٨,٠٣) هي فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ للمقارنة $\frac{1}{2}$.
وبما أنها لا تحتوي الصفر نرفض الفرض $\frac{1}{2}$ = ٠ عند المستوى ٠,٠١ .

إن الصيغ (٢٤) و (٢٥) و (٢٦) و (٢٧) لاختبار المقارنات القبلية التي وضعت
أصلا للتجارب ذوات العامل الواحد تصلح كذلك للتجارب ذوات العاملين أو
أكثر طالما كان النموذج المستخدم هو النموذج ثابت التأثيرات .

مثال (٨ - ١٣) :

أجب عن التساؤلات القبلية الثلاثة المطروحة بالمثال (٨ - ٧) علما بأن
 $\chi^2 = 3,13$ بدرجات حرية ٤٥ وأن كلا من المتوسطات بنى على ٨
مشاهدات .
الحل :

نضع هذه التساؤلات على هيئة مقارنات كما بالجدول (٨ - ١٦) الآتي :

جدول (٨-١٦)

المقارنات المتصلة بالمثل (٨-٧)

المقارنة				المتوسط
(٤)	(٣)	(٢)	(١)	
٢,٢٥	٣,٨٧٥	٥,٥	١٢,٦٢٥	
١-	.	.	١	١ : درجة الحرارة ٨ ضد درجة الحرارة ٢٨
.	١-	١	.	٢ : درجة الحرارة ١٤ ضد درجة الحرارة ٢١
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ -	$\frac{1}{4}$ -	$\frac{1}{4}$	٣ : الدوجتان (٢٨٤٨١) ضد الدوجتان (٢١٤١٤)

$$١٠,٣٧٥ = ٢,٢٥ \times ١ - ١٢,٦٢٥ \times ١ = \hat{\psi}_1$$

$$٠,٧٨٢٥ = (١+١) \frac{1}{8} \times ٣,١٣ = \hat{\psi}_2^E$$

$$١٣٧,٥٥٩ = ٠,٧٨٢٥ / (١٠,٣٧٥) = \text{في}^{**}$$

بما أن $F_{[٤٥,١], ٠,٠١} = ٧,٣١$ فإن في تكون ذات دلالة عالية ونرفض الفرض الصفري أن $\hat{\psi}_1 = ٠$ بالمثل نجد أن

$$٣,٣٧٥ = \hat{\psi}_1 \text{ و } ٠,٧٨٢٥ = \hat{\psi}_2^E \text{ وفي } ٠$$

وإذن نقبل الفرض أن $\hat{\psi}_1 = ٠$

كذلك

$$\hat{\psi}_3 = ٢,٧٥ \text{ و } ٠,٣٩١٢٥ = \hat{\psi}_2^E \text{ وفي } ١٩,٣٢٩ = \text{في}^{**}$$

وإذن نرفض الفرض أن $\hat{\psi}_3 = ٠$

لاحظ أن هذه هي نفس النتائج التي توصلنا إليها في المثال (٨ - ٧).

(٨ - ١٢) تجزئء مجموع المربعات بين أقسام المعالجة :

إن تحليل التباين بالنموذج ثابت التأثيرات يكافئ فصل البيانات إلى مجموعة من المقارنات المستقلة ، إذ أن كل درجة من درجات الحرية تصاحب معالجة ما ينظرها مقارنة ما بين المتوسطات . ولتوضيح ذلك نبدأ بالتعريف الآتى :

تعريف (٢) : مجموع مربعات مقارنة :

إذا كانت $\hat{\psi} = \bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_m - \bar{y}_m$ مقارنة بين متوسطات العينات فإن مجموع مربعات هذه المقارنة يعرف كالتالى :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (\hat{\psi}_i)^2 = (\hat{\psi})^2 \quad (٢٨)$$

ويمكن إثبات أن لهذا المجموع درجة واحدة من درجات الحرية .

فمثلا ، فى المثال (٨ - ٢) الذى يتناول المقارنة $\hat{\psi}_1$ بين أقسام السكريات مجتمعة ضد قسم المراقبة نجد ما يلى :

$$\hat{\psi}_1 = 10,2 - 10,2$$

$$\hat{\psi}_1^2 = \left[\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 - \bar{y}_8 + \bar{y}_9 - \bar{y}_{10} \right]^2 = 0,125$$

$$\therefore (\hat{\psi}_1)^2 = (10,2 - 10,2) / 0,125 = 832,32 \text{ بدرجة حرية واحدة .}$$

وهذا العدد بالضبط هو الذى وجدناه فى المثال (٨ - ٢) .

كذلك ، فى المثال (٨ - ٣) الذى يتناول المقارنة $\hat{\psi}_2$ بين السكريات النقية والسكر الخليط نجد ما يلى :

$$\hat{\psi}_2 = 2,0333 - 48,13 = -46,0967 \quad \hat{\psi}_2^2 = 2124,94 \quad \therefore 2124,94 = 46,0967^2$$

بدرجة حرية واحدة . وهذا العدد هو بالضبط العدد الذى وجدناه فى المثال (٨ - ٣) .

ويترتب على التعريف (٢) أن

$$\text{تباین}(\hat{\psi})^2 = 1 \div (\hat{\psi})^2 = 1$$

وحين تتوفر الشروط المعتادة لتحليل التباين يكون توزيع نسبة التباين لأى مقارنة $\hat{\psi}$ وهى

$$(29) \quad \frac{(\hat{\psi})^2}{\epsilon^2} = F$$

مطابقا لتوزيع F بدرجة حرية ١ ، ϵ^2 ويمكن باستخدام (٢٨) ، (٢٣) إثبات

$$\text{أن هذه النسبة هى بذاتها نسبة التباين (٢٧) وهى } F = \frac{\hat{\psi}^2}{\epsilon^2}$$

نبحث الآن فى المقارنات المستقلة ، وفى هذا البحث تلزمنا القاعدتين الآتيتين اللتين يمكن إثباتهما رياضيا .

قاعدة (١) :

إذا كانت $\hat{\psi}_1$ و $\hat{\psi}_2$ مقارنتين مستقلتين على نفس البيانات فإن :

$$(30) \quad (\hat{\psi}_1)^2 + (\hat{\psi}_2)^2 = (\hat{\psi}_1)^2 + (\hat{\psi}_2)^2$$

أى أن مجموع مربعات مقارنتين مستقلتين يساوى مجموع مربعات إحداهما مضافا إلى مجموع مربعات الأخرى . كما أن مجموع المربعات الناتج من ضم المقارنتين يكون له درجتان من درجات الحرية .

وتمتد هذه القاعدة لأي عدد من المقارنات المستقلة ولذلك نقول إن المقارنات المستقلة تجميعية additive

فمثلا ، في المثال (٨ - ٤) الذى يتساعل عما إذا كان هناك فروق بين السكريات النقية (١) و (٢) و (٤) ، رأينا في المثال (٨ - ١٠) أن هذا التساؤل يتضمن المقارنتين $\hat{\mu}_1$ و $\hat{\mu}_2$. ونظرا لاستقلال هاتين المقارنتين يجب حسب القاعدة (١) أن يكون المجموع $\hat{\mu}_1^2 + \hat{\mu}_2^2$ مساويا لمجموع المربعات الذى حصلنا عليه في المثال (٨ - ٤) . بالحساب نجد ما يلي :

$$\therefore y_0 = (1 + 1) \frac{1}{11} = \frac{2}{11} \approx 0.1818 = 18.18\%$$

بدرجة حرية واحدة $7.05 = 0.20 \div \chi^2(1,1) = (\hat{\psi})^2$

$$١٩٠,٨٢ = (\hat{V})^{٢٢,٠,١٥} = \frac{٢١}{٢٥} \approx ٠,٨٤ = \hat{V}, \text{ كذلك}$$

19.82 + 7.0 = $(\hat{\psi})_{rr} + (\hat{\psi})_{rr}$ إذن

بدرجات حرية عددها ٢ = ١٩٦,٨٧

وهذا بالضبط ما وجدناه بالمثال (٨ - ٤) وبذلك يتحقق أن

$$(\hat{\psi})_{rr} + (\hat{\psi})_{rr} = (\hat{\psi}_r, \hat{\psi})_{rr}$$

قاعدة (٢) :

إذا كان بتجربة ما k من أقسام المعالجة وكان هناك $k - 1$ من المقارنات المستقلة $\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2, \dots, \hat{\mu}_k$ بين متوسطات العينات فإن :

$$\hat{\psi}_1^2 + \dots + \hat{\psi}_r^2 + \hat{\psi}_{r+1}^2 \text{ أى } [\text{جميع } \hat{\psi}_j] \text{ أى } \hat{\psi}_1^2 + \dots + \hat{\psi}_r^2 + \hat{\psi}_{r+1}^2$$

وتتضمن هذه القاعدة أن مجموع مربعات أى مقارنة هو جزء من مجموع المربعات بين أقسام المعالجة (بدرجة حرية واحدة) ، كما تتضمن أنه لا يمكن أن يزيد عدد المقارنات المستقلة عن ك - ١ مقارنة . وهناك حرية كبيرة في اختيار مجموعة من ك - ١ من المقارنات المستقلة ويتم هذا الاختيار بحسب التساؤلات التي تجرى التجربة للإجابة عنها ، فإذا بدأنا بمقارنة معينة يمكن دائما تكوين الك - ٢ من المقارنات المستقلة الأخرى .

فمثلا ، اعتبر المثال (٨ - ١) والأمثلة الثلاثة التابعة له .

عدد أقسام المعالجة = ك = ٥

من المثال (٨ - ١) وجدنا أن م م (بين الأقسام) = ١٠٧٧,٣٢ بدرجات حرية ٤ .

المقارنات $\hat{\psi}_1, \hat{\psi}_2, \hat{\psi}_3, \hat{\psi}_4$ المدونة بالجدول (٨ - ١٤) هي مقارنات مستقلة عددها ٤ (= ك - ١) .

$$١٩٠,٨٢ + ٦,٠٥ + ٤٨,١٣ + ٨٣٢,٣٢ = (\hat{\psi}_1, \hat{\psi}_2, \hat{\psi}_3, \hat{\psi}_4) \text{ م م } \\ \text{بدرجات حرية ٤} \quad ١٠٧٧,٣٢ =$$

$$= \text{م م (بين الأقسام)}$$

وبذلك تتحقق القاعدة (٢) .

ملاحظة :

إن كل ما ذكر في هذا البند عن المقارنات المستقلة بين المتوسطات ينطبق على المقارنات المستقلة بين مجاميع العينات ، مع ملاحظة أن مجموع مربعات مقارنة بين المجاميع هي $(\hat{\psi})^2 / \text{م م } \hat{\psi}^2$ حيث $\hat{\psi}$ مقارنة بين المجاميع ، م م حجم العينة ر .

مثال (٨ - ١٤) :

وجدت المشاهدات الآتية في تجربة ما :

جدول (٨ - ١٧)

الأقسام				
(٤)	(٣)	(٢)	(١)	
٣	٣	٢	٤	
٥	٥	٦	٦	
٤	٧	٣	٥	
٥	٧	٥		
٣	٨			
١٧ = ٥	٥	٤	٣	٥
٨١ = ٢	٢٠	٣٠	١٦	١٥
٤,٧٦ = ٥	٤	٦	٤	٥

(أولاً) أوجد ٢ ٢ (بين الأقسام) ،

(ثانياً) حدد أوزاناً لكل من المقارنات الثنائية الثلاث الآتية بحيث تكون مستقلة ،

(أ) المجموعة (١) ضد المجموعة (٢) .

(ب) المجموعتان (١) و(٢) معا ضد المجموعة (٣)

(ج) المجموعات (١) و(٢) و(٣) ضد المجموعة (٤)

(ثالثاً) أوجد قيمة كل مقارنة وقيمة مجموع مربعاتها ثم اختبر دلالتها عند المستوى ٠,٠٥ علماً بأن $\chi^2 = 2,46$ بدرجات حرية ١٣ . اكتب جدول التباين بالتفصيل .

الحل :

$$(أولاً) \quad 22 \text{ (بين الأقسام) } = \frac{11}{17} - \frac{2}{10} + \frac{3}{10} + \frac{11}{4} + \frac{15}{3} =$$

$$13,058 = \text{بدرجات حرية } 3$$

(ثانياً) لكي تكون المقارنات مستقلة يلزم توفر ما يلي :

(١) شرط المقارنة (١٨) وهو $\mu = \mu$

(٢) شرط الاستقلال (٢١) وهو $\mu = \frac{\mu \cdot \mu}{n}$

مع ملاحظة أن المجموعات مختلفة الأحجام .

بقليل من العمليات الحسابية نجد أن الأوزان المطلوبة يمكن أن تؤخذ بالقيم المسجلة بالجدول الآتي أو بأي مجموعة من القيم تتناسب معها . ويمكن أن يسير العمل كالاتي :

جدول (٨ - ١٨)

المقارنة	المتوسط			
	(١)	(٢)	(٣)	(٤)
	٥	٤	٦	٤
↑ (١) ضد (٢)	١	-	١	٠
↑ (١) ضد (٣)	٣	٤	-	٠
↑ (١) ضد (٤)	٣	٤	٥	- ١٢

نبدأ بأسهل المقارنات وهي $\hat{\psi}_1$ ونضع لها الوزنين ١، -١ ثم نفرض أن أوزان المقارنة $\hat{\psi}_2$ هي ١، ١، ١، ١. لتحقيق شرط المقارنة ينبغي أن يكون $١ = ١ + ١ + ١ + ١$.
ولتحقيق شرط استقلال $\hat{\psi}_1$ و $\hat{\psi}_2$ ينبغي أن يكون :

$$٠ = ٠ + \frac{١ \times ١ -}{٤} + \frac{١ \times ١}{٣}$$

مع ملاحظة أن ٣ هو حجم العينة الأولى ، ٤ حجم العينة الثانية .

$$\text{وإذن } \frac{١}{٤} = \frac{١}{٣} \text{ أى } ١ : ١ = ٣ : ٤$$

$$\text{فإذا أخذنا } ١ = ٣ \text{ فإن } ١ = ٤ ، ١ = ٧ -$$

وهذه هي الأعداد التي وضعت بالصف الثاني بالجدول .

بالمثل ، إذا فرضنا أن أوزان المقارنة $\hat{\psi}_3$ هي ١، ١، ١، ١، ١ فإن $٠ = ١ + ١ + ١ + ١ + ١$

$$\text{لاستقلال } \hat{\psi}_1 ، \hat{\psi}_2 : \frac{١ \times ١ -}{٤} + \frac{١ \times ١}{٣} = ٠ \text{ ومنها } ١ : ١ = ٣ : ٤$$

$$\text{لاستقلال } \hat{\psi}_1 ، \hat{\psi}_3 : \frac{١ \times ٣}{٣} + \frac{١ \times ٤}{٤} + \frac{١ \times ٧ -}{٥} = ٠$$

$$\text{ومنها } ١ + ١ - \frac{٧}{٥} = ٠ \text{ فإذا أخذنا } ١ = ٣ ، ١ = ٤ \text{ فإن}$$

$$١٢ = ٥ ، ١ = ١٢ -$$

وهذه هي الأعداد التي وضعت بالصف الثالث من الجدول .

$$\text{(ثالثاً) } \hat{\psi}_1 = ١ \times ١ + ٥ \times (١ -) = ١$$

$$\hat{\psi}_2^2 = (١ \times ١ + ١ \times \frac{١}{٣} + ١ \times \frac{١}{٤} + ١ \times \frac{١}{٥}) / ١ = \frac{١٢}{١٢} = ١,٧١٤$$

ليست ذات دلالة

$$\therefore \text{ فى } ١ > \frac{١,٧١٤}{٢,٤٦}$$

كذلك

$$11 = 6 \times 7 - 4 \times 4 + 0 \times 3 = \hat{11}$$

$$7,202 = 16 \frac{1}{2} / 121 = (\frac{49}{9} + \frac{7}{4} + \frac{9}{4}) / (11) = \hat{72}$$

ليست ذات دلالة عند المستوى 0.05 $2,928 = \frac{7,202}{2,46} = \hat{29}$ \therefore في

لأن $4,70 = [13, 1] 0.05$

بالمثل

$13 = \hat{13}$ ، $4,142 = \hat{41}$ ، في $1,684$ ليست ذات دلالة

نلاحظ أن 22 (المقارنات الثلاث) $4,142 + 7,202 + 1,714 =$

$13,058 =$ حيث $3 = 7$

وهذا يساوي 22 (بين الأقسام) كما نتوقع .

جدول التباين هو :

جدول (٨ - ١٩)

ف	تقدير التباين	د ج	٢٢	مصدر التباين
١,٧٧	٤,٣٥٣	٣	١٣,٠٥٨	بين الأقسام
١ >	١,٧١٤	{ ١	١,٧١٤	{ ١,٧١٤ ٧,٢٠٢ ٤,١٤٢ الخطأ
٢,٩٢٨	٧,٢٠٢		٧,٢٠٢	
١,٦٨٤	٤,١٤٢		٤,١٤٢	
	٢,٤٦٠	١٣	٣١,٩٨٠	
		١٦	٤٥,٠٣٨	الكل

نقبل الفرض الصفري بأنه لا يوجد فروق بين أقسام المعالجة ، كما نقبل أن $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

نعلم أننا لا نجري اختبارات المقارنات البعدية إلا إذا وجدنا من تحليل الثباين أن هناك دلالة لعامل التجريب أو وضاحتها قيمة F . كما نعلم أنه في اختبار هذه المقارنات لا يهنا أن تكون مستقلة كما هو الحال في المقارنات القبلية .

٢٢ (بين الأقسام) $\leq (ك - ١) ع' , ف \alpha [ك - ١, ١ - ١ - ك]$ (٣٢)

$$(33) \quad \hat{\psi}^2 (1 - \epsilon) \leq \psi^2 \cdot \alpha \cdot (1 - \epsilon) \leq \alpha \cdot (1 - \epsilon)$$

والعدد الذى بالطرف الأيسر من المتباينة (٣٣) هو القيمة الحرجة للقمية $(\hat{\psi})^*$. فإذا كانت $(\hat{\psi})^*$ مساوية أو أكبر منها يرفض الفرض الصفرى $\psi_0 = 0$ عند المستوى α وتكون هذه المقارنة هي لإحدى العوامل التى تسببت فى الدلالة العامة

لعامل التجريب ، أما إذا كانت $\hat{\psi}^2$ أقل من القيمة الحرجة فإنها لا تكون ذات دلالة .

مثال (٨ - ١٥) :

في المثال (٨ - ٥) كان أحد التساؤلات البعدية هو : هل متوسط السكروز يختلف عن متوسط السكريات الثلاثة الأخرى مجتمعة ؟

هذا التساؤل يمكن وضعه على هيئة مقارنة كالتالي :

$$\begin{aligned} \hat{\psi}^2 &= \bar{\psi}_1 - \bar{\psi}_2 + \bar{\psi}_3 - \bar{\psi}_4 = \\ &= \frac{1}{4} (59,3 + 58,2 + 58) - 64,1 = 0,6 \\ &= 31,36 = (\hat{\psi}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0,46 \times \frac{1}{11} \left(1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right) = \\ &= 0,728 = 0,1333 \times 0,46 = \end{aligned}$$

$$\therefore \text{القيمة الحرجة} = 4 \times 0,728 \times 2,58 = 7,513$$

بما أن $7,513 < 31,36$ نرفض أن $\psi = 0$ عند مستوى الدلالة ٠,٠٥

(٨ - ١٣ - ١) مقارنة أزواج المتوسطات :

تستخدم المتباينة (٣٣) للاختبارات البعدية لأزواج المتوسطات . ففي المثال (٨ - ١) كان لدينا خمسة أقسام واذن يكون هناك $q = 10$ اختبارات كل

منها على الصورة $\bar{S}_1 - \bar{S}_2$. في هذه الحالة يكون لدينا قيمة حرجة واحدة لجميع الاختبارات لأن قيمة χ^2_{α} واحدة لأي مقارنة وهي :

$$\chi^2_{\alpha} = 0,46 \times \frac{1}{1} \times (1+1) = 1,092$$

وتكون القيمة الحرجة هي $11,269 = 2,58 \times 1,092 \times 4$

ومن المناسب هنا وضع جميع المقارنات العشرة (الفروق بين المتوسطات) في جدول كالآتي حيث الأعداد داخل الجدول تعبر عن الفروق بين المتوسطات .

جدول (٨ - ٢٠)

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	المتوسطات
٥٩,٣	٥٨,٢	٥٨,٠	٦٤,١	٧٠,١	
٠	١,١	١,٣	٢,٨-	١٠,٨-	٥٩,٣ (١)
٠	٠	٠,٢	٥,٩-	١١,٩-	٥٨,٢ (٢)
		٠	٦,١-	١٢,١-	٥٨,٠ (٣)
			٠	٦,١-	٦٤,١ (٤)
				٠	٧٠,١ (٥)

وبمضاهاة القيمة المطلقة لكل من هذه الفروق بالجذر التربيعي للقيمة الحرجة وهو $\sqrt{11,269} = 3,357$ نجد أن سبعة منها ذات دلالة عند المستوى ٠,٠٥ وهي المشار إليها بنجمة في الجدول .

تمارين (٨ - ٦)

(١) في إحدى التجارب ذوات العامل الواحد كان هناك خمسة مستويات لعامل التجربة ، وقد اختير للتجريب خمس عينات عشوائية مستقلة بكل منها ١٠ مشاهدات وجد أن متوسطاتها كما هو مبين بالجدول الآتي :

المتوسطات					المقارنات
(٥)	(٤)	(٣)	(٢)	(١)	
١٠٤	٨٠	٩٢	٩٥	٨٦	
٠	٠	٠	١-	١	١
١-	١	٠	٠	٠	٢
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	٠	$\frac{1}{4}$ -	$\frac{1}{4}$ -	٣
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	١-	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	٤

- (أولا) اثبت أن المقارنات المدونة بالجدول مستقلة وأوجد قيمة كل منها .
- (ثانيا) أوجد مجموع مربعات كل مقارنة واكتب جدول التباين بالتفصيل علما بأن المجموع الكلي للمربعات ٥١١٢ . بين أن هناك دلالة لعامل التجربة ثم ابحث دلالة كل من المقارنات الأربعة .
- (ثالثا) أجر الاختبارات البعدية للفرق بين كل زوج من المتوسطات الخمسة .
- (٢) أجريت تجربة لمعرفة العلاقة بين حجم ولون الحائط لحجرة تستخدم في أسلوب مقنن للمقابلات interviews وبين مستوى القلق للمختبرين ، وجاءت النتائج كما في الجدول الآتي :

(ثالثا) أجر المقارنات البعدية بين جميع الفروق بين أزواج متوسطات الأعمدة (الألوان) ،

(رابعا) اختر مقارنتين مستقلتين بين الصفوف (الأحجام) واختبر دلالة كل منهما .

(٨ - ١٤) النموذج عشوائى التأثيرات RANDOM EFFECTS MODEL

فى تناولنا لتحليل التباين للتجارب ذوات العامل الواحد بالبند (٨ - ٤) افترضنا أن لدينا مجتمعا معتدلا متوسطه μ وتباينه σ^2 أخذت منه عينة عشوائية قسمت عشوائيا إلى k من المجموعات لتتلقى k من المعالجات المختلفة مما قد يؤدي إلى اختلاف تراكيب هذه المجموعات ، ولذلك اعتبرنا أن هذه المجموعات هي عينات مأخوذة من مجتمعات (معتدلة) قد تختلف متوسطاتها $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ ، وإن كنا نعتبر أن لها تباين مشترك σ^2 هو تباين المجتمع الأصلي . ونظرا لأن عناصر كل مجموعة تتلقى معالجة محددة فإننا نعتبر أن تأثير أى معالجة هو تأثير ثابت على جميع عناصر المجموعة التى تلقت هذه المعالجة ، ويختلف هذا التأثير من مجموعة إلى أخرى . ومن ثم وصفنا النموذج الإحصائى الذى استخدمناه فى التحليل بأنه نموذج ثابت التأثيرات أو النموذج I ووضعناه بالصيغة (٢) وهى :

$$س_{ijk} = \mu + \alpha_j + \gamma_{rk} \text{ حيث } r = 1, 2, \dots, r \text{ و } k = 1, 2, \dots, k$$

وحيث $س_{ijk}$ هو العنصر الرأى من المجموعة j التى تلقت المعالجة r

$\alpha_j = \mu_j - \mu$ (الفرق بين متوسط المجتمع j ومتوسط المجتمع الأصلى) وهو فرق ثابت بالنسبة لعناصر المجموعة j ويختلف من مجموعة إلى أخرى .

γ_{rk} تعبر عن أخطاء التجريب وهو متغير عشوائى افترضنا أن له توزيع معتدل : مع $(0, \sigma)$.

ويهدف هذا النموذج إلى المقارنة بين المتوسطات $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$.

في هذا النموذج ننظر إلى المعالجات التي استخدمت في التجريب على أنها تستغرق جميع المعالجات ذات الأهمية وتقتصر استنتاجاتنا فقط على هذه المعالجات المثلة في التجربة . ولكن هناك أنواع من التجارب يكون المطلوب فيها التوصل إلى استنتاجات عن مجموعة كبيرة من المعالجات تشمل المعالجات المثلة وغير المثلة في التجربة . أى أن الباحث يكون مهتماً بمجموعة كبيرة من المعالجات الممكنة لعامل التجريب ولكنه حين يقوم بالتجربة لا يأخذها جميعها بل يأخذ عينة عشوائية منها ومع ذلك يرغب في التوصل إلى استنتاجات عن تأثيرات المجموعة الكاملة . في هذه الحالة يستخدم نموذجاً إحصائياً آخر يسمى بالنموذج عشوائى التأثيرات أو بالنموذج II يصاغ كالآتى :

$$\begin{aligned} \text{حيث } \mu = \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r \\ \mu + \alpha_j + \epsilon_{ij} = y_{ij} \\ \text{و } \epsilon = \epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_k \end{aligned} \quad (34)$$

$$\text{وحيث } \alpha_j = \mu - (\mu)$$

= الفرق بين المتوسط μ (و) للمعالجة و متوسط المجتمع الأصلى .
ولما كان μ (و) هو متغير عشوائى لأن المعالجة و تختار عشوائياً ، فإن α_j يكون بالضرورة متغيراً عشوائياً هو الآخر .

وهذا النموذج يشبه النموذج I إلا أن الفرق بينهما كبير ، فبينما نعتبر أن تأثيرات α_j في النموذج I ثابتة ، فإننا نعتبر أن تأثيرات α_j عشوائية . أى أننا حين نكرر سحب العينات فإننا تحت النموذج I نسحب دائماً نفس المعالجات بنفس التأثيرات α_j ، أما تحت النموذج II فنسحب في كل مرة عينة عشوائية جديدة تختلف فيها تأثيرات α_j . ومن ثم نصف تأثيرات α_j بأنها عشوائية وتتوقف على العينة المختارة . وكما سبق القول يستخدم النموذج I حين يكون المطلوب التوصل إلى استنتاجات عن فئة محددة من المعالجات تستخدم جميعها في التجريب ، أما النموذج II فيستخدم حين تكون هناك فئة كبيرة من المعالجات التى يهتم الباحث ولكنه لا يستخدمها جميعاً بل يستخدم عينة عشوائية منها .

وفي النموذج II نفترض أن للمتغيرين العشوائيين α و β التوزيعين الآتيين :

α : مع $(\sigma, 0)$ ، β : مع $(\sigma, 0)$ (٣٥)

كما نفترض أن قيم α ، β مستقلة عن بعضها البعض .

ويلاحظ أننا عرفنا α بأنها انحرافات متوسطات المعالجات عن المتوسط العام للمجتمع ولذلك فإن متوسط تأثيرات α يساوى صفرا ، وهذا ما دعانا لأن نفترض أن متوسط توزيع α صفر ، أما تبين هذا التوزيع فهو مقدار مجهول σ^2 ، يراد تقديره وتقدير مدى مساهمته في الاختلاف الذي يظهر عند تحليل التباين وهذا أمر هام في كثير من التطبيقات الإحصائية .

إن تحليل التباين يتخذ نفس الأسلوب الحسابي في النموذجين I و II إلا أن الهدف من التحليل يختلف تماما ، فبينما يهدف التحليل في النموذج I إلى مقارنة المتوسطات ، فهو يهدف في النموذج II إلى دراسة التباينات ، وبصفة خاصة إلى تقدير واختبار كل من التباينين σ^2 و σ^2 وكذلك إلى تقدير التباين σ^2 لتوزيع المعاينة للمتوسط الحسابي لأهميته في تقدير مدى الثقة في تقدير المتوسط الحقيقي للمجتمع عن طريق المتوسط \bar{y} للعينات. أما متوسطات تأثيرات α فلا جدوى من محاولة تقديرها أو تقدير الفروق بينها لأنها عشوائية .

إذا رمزنا بالرمز σ^2 للتباين المشاهد داخل أقسام المعالجة : ط ٢ (داخل الأقسام) ، وبالرمز σ^2 للتباين المشاهد بين الأقسام : ط ٢ (بين الأقسام) وبالرمز σ^2 لعدد قيم المتغير في أى قسم فيمكن إثبات ما يلي :

(١) σ^2 هو تقدير غير متحيز للتباين σ^2 (٣٦)

(٢٧) σ^2 هو تقدير غير متحيز للمقدار $\sigma^2 + \sigma^2$ ،
 وإذا رمزنا بالرمز σ^2 للتقدير غير المتحيز للتباين σ^2 فإن

$$(٢٨) \quad \sigma^2 = \frac{1}{n} (\sigma^2 - \sigma^2)$$

وهذه نتيجة مباشرة من (١) ، (٢) ، كما ينتج أن الفرض الصفري $\sigma^2 = 0$ يمكن أن يختبر بواسطة اختبار ف بالصور الآتية لأنه في حالة صحة هذا الفرض يكون كل من σ^2 ، σ^2 تقديرا غير متحيز للتباين σ^2 :

$$(٢٩) \quad \frac{\sigma^2}{\sigma^2} = f \quad \text{بلرحتى حرية (ك - ١ ، ه - ك)}$$

حيث ك عدد أقسام المعالجة و ه = الحجم الكلي للعينات = ك ه .

$$(٤٠) \quad (٣) \text{ تقدير } \sigma^2 \text{ هو } \frac{\sigma^2}{h}$$

أى أن التباين σ^2 لتوزيع المعاينة للمتوسط الحسابى يقدر بواسطة التباين المشاهد بين الأقسام مقسوما على العدد الكلي للملاحظات ه .

تبين نوعية التجارب التى تستلزم النموذج II من المثالين الآتين .

مثال (٨ - ٢٦) :

في دراسة لحتوى الكلسيوم في أوراق نبات اللفت الأخضر أخذت عينة عشوائية من ٤ أوراق من هذا النبات ثم أخذ من كل ورقة اختبرت ٤ أجزاء وزن كل منها ١٠٠ جرام وبذلك تجمع ١٦ جزءا من أوراق النبات . قيس النسبة المئوية لحتوى الكلسيوم في كل منها وسجلت القياسات بالجدول (٨ - ٢١) الآتى :

جدول (٨ - ٢١)

النسب المئوية للكلسيوم في أوراق نبات اللفت : له = ٤ أوراق ، و = ٤ أجزاء .

	الأوراق				
	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	
النسبة المئوية للكلسيوم في أجزاء الورقة	٣,٢٨	٣,٥٢	٢,٨٨	٣,٣٤	
	٣,٠٩	٣,٤٨	٢,٨٠	٣,٣٨	
	٣,٠٣	٣,٣٨	٢,٨١	٣,٢٣	
	٣,٠٣	٣,٣٨	٢,٧٦	٣,٢٦	
المجموع للورقة	١٢,٤٣	١٣,٧٦	١١,٢٥	١٣,٢١	$50.65 = \mu$
المتوسط للورقة	٣,١١	٣,٤٤	٢,٨١	٣,٣٠	$3.17 = \sigma$

نظرا لأن الأوراق تختلف من جوانب كثيرة قد لا نعرف طبيعتها كالاختلافات الوراثية والبيئية ونظرا لأننا اخترنا عينة عشوائية منها فإن النموذج المناسب هو النموذج عشوائى التأثير بالصيغة (٣٤) حيث سيمر ترمز إلى نسبة الكلسيوم في الجزء ر من الورقة $ق، ر = ١، ٢، ٣، ٤$ $و، ر = ١، ٢، ٣، ٤$ وحيث μ ترمز إلى المتوسط الحقيقى لنسبة الكلسيوم في مجتمع أوراق اللفت الأخضر . كما أن :

σ^2 ترمز إلى التباين بين الأوراق أى إلى مدى أثر الاختلافات الوراثية بين ورقة وأخرى على محتوى الكلسيوم ،

σ^2 ترمز إلى التباين داخل الأوراق أى بين القياسات داخل كل ورقة وبالتالى فهى تعبر عن تأثير الاختلافات غير الوراثية على محتوى الكلسيوم .

المطلوب فى هذا المثال ما يلى :

(أولا) اختبار وجود أو عدم وجود تأثيرات ترجع إلى المعالجات أى إلى العوامل الوراثية . ويتضمن هذا الاختبار اختبار الفروض الصفرية : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ ، $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ ، $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ ، $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$. وتحقق هذه الفروض إذا وفقط إذا تحقق الفرض $\sigma^2 = \sigma^2$ ، ولذلك فإن الفرض الصفرى المطلوب اختباره يؤول إلى الآتى :

$$\sigma^2 = \sigma^2$$

وهذا الاختبار لا يتعلق فقط بوجود تأثيرات للمعالجات التى استخدمت فى التجربة بل لجميع المعالجات الممكنة التى دخلت والتى لم تدخل فيها .

(ثانيا) تقدير المتوسط μ لمحتوى الكلسيوم فى مجتمع أوراق اللفت مع تقدير درجة الثقة فى هذا التقدير . وهذا هو الهدف الرئيسى فى هذه التجربة .

(ثالثا) المقارنة بين التباينين σ_1^2 و σ^2 لأن هذه المقارنة قد تشير إلى ضرورة تعديل التجربة وتصميم تجربة مماثلة تكون أكثر دقة وأقل تكلفة . فإذا كان التباين σ_1^2 بين الأوراق أكبر نسبيا من التباين σ^2 داخل الأوراق فالأفضل تصميم تجربة نأخذ فيها عددا أكبر من الأوراق وعددا أصغر من الأجزاء والعكس بالعكس ، لأن هذا من شأنه تصغير تباين توزيع المعاينة للوسط الحسابى فيكون تقديرنا للبارامتر μ أكثر دقة .

نقوم الآن بتحليل التباين للمثال (٨ - ١٦) .

$$\text{عامل التصحيح} = \frac{\sigma^2}{\sigma^2} = \frac{100,60}{16} = 160,3389$$

$$١٦٠,٣٣٨٩ - {}^2٣,٢٦ + \dots + {}^2٣,٠٩ + {}^2٣,٢٨ = \text{٢٢ (الكل)}$$

$$\text{بدرجات حرية } ١٥ = ٠,٩٦٦٦$$

$$\text{٢٢ (بين الأوراق)} = \frac{١ - ({}^{1٣,٢١} + ١١,٢٥ + {}^{1٣,٧٦} + {}^{1٢,٤٣})}{٤}$$

$$- ١٦٠,٣٣٨٩$$

$$\text{بدرجات حرية } ٣ = ٠,٨٨٨٣٧$$

$$\text{٢٢ (داخل الأوراق)} = ٠,٨٨٨٣٧ - ٠,٩٦٦٦$$

$$\text{بدرجات حرية } ١٢ = ٠,٠٧٨٢٣$$

جدول (٨ - ٧٢)

مصدر التباين	٢٢	د ج	ط ٢	التباين المتوقع
بين الأوراق	٠,٨٨٨٣٧	٣	${}^2٣ = ٠,٢٩٦٦$	${}^2٣ + {}^1٥$
بين القياسات داخل الأوراق	٠,٠٧٨٢٣	١٢	${}^2٣ = ٠,٠٠٦٦$	1٥
الكل	٠,٩٦٦٦	١٥		

(أولاً) : الفرض الصفري : ${}^1٥ = ٠$ (لا يوجد تأثير للخواص الوراثية على محتوى الكلسيوم)

$$\text{من (٣٩) : فـي} = \frac{٠,٢٩٦٦}{٠,٠٠٦٦} = ٤٤,٩^{**}$$

وهذه القيمة تزيد كثيرا عن القيمة الحرجة ف $0.001 < 0.95$ مما يجعلنا نرفض الفرض الصفري عند مستوى عالى من الدلالة ونستنتج أن هناك تفاوتاً كبيراً في الخواص الوراثية لأوراق النبات يؤثر تأثيراً فعالاً في محتوى الكلسيوم في هذه الأوراق .

(ثانياً) : نقدر الوسط الحسابى μ للنسبة المئوية المحتوية للكلسيوم في مجتمع أوراق نبات اللفت الأخضر بواسطة الوسط الحسابى العام للعينات وهو $\mu = 3.17$ وليبيان مدى الدقة في هذا التقدير وحساب فترات الثقة للمتوسط μ نستخدم الصيغة (٤٠) لتقدير تباين توزيع المعاينة للوسط الحسابى كالتالى :

$$\text{تقدير } \sigma^2 = \frac{s^2}{n} = \frac{0.2961}{16} = 0.0185 \quad \text{بدرجات حرية } 3$$

ويمكننا أن نوجد فترة ثقة للمتوسط μ بدرجة ٩٩٪ كالتالى :

$$\text{الحد الأدنى للفترة} = 3.17 - \sqrt{0.0185 \times 3.0} = 2.376$$

$$2.376 = 3.17 - 0.841 \times 0.1360$$

$$\text{الحد الأعلى للفترة} = 3.17 + 0.841 \times 0.1360 = 3.964$$

أى أن فترة الثقة المطلوبة هي (٢,٣٧٦ ، ٣,٩٦٤) .

(ثالثاً) : من (٣٦) ، التقدير غير المتحيز للتباين σ^2 هو $s^2 = 0.0066$

ومن (٣٨) ، التقدير غير المتحيز للتباين $\frac{\sigma^2}{n}$ هو

$$\frac{s^2}{n} = \frac{(s^2 - \frac{s^2}{n})}{\frac{n-1}{2}} = \frac{(0.0066 - 0.2961)}{\frac{1}{2}} = 0.0724$$

$$\text{نلاحظ أن } \frac{s^2}{n} = \frac{0.0724}{0.0066} = 10.97$$

أى أن تقدير σ^2 عشرة أضعاف أو أكثر تقدير σ^2 ولو أردنا تحسين التجربة وتحسين الخطأ المعيارى لتوزيع المعاينة للوسط الحسابى ينبغى أن نزيد من عدد الأوراق وأن نقلل من عدد الأجزاء التى تؤخذ من كل ورقة .

ملاحظة :

فى هذا المثال اخترنا عينة عشوائية من الوحدات (أوراق النبات) التى يمكن أن نسميها بالوحدات الابتدائية للمعاينة primary sampling units ثم اخترنا عينات عشوائية جزئية من كل وحدة من الوحدات الابتدائية ويمكن أن نستمر فى ذلك بأخذ عينات عشوائية من كل عنصر من عناصر العينات الجزئية السابق اختيارها وأن نكرر ذلك حسبما تقتضى التجربة . إن مثل هذه المعاينة تسمى بالمعاينة ذات المراحل أو بالمعاينة العشبية multistage or nested sampling حيث تحدث عدة تقسيمات متدرجة ومتداخلة كأعشاش الطيور . وسوف نعود إلى ذلك فى البند (١٥ - ٥) من الفصل الخامس عشر .

مثال (٨ - ١٧) :

فى إحدى التجارب النفسية كان يشك فى أن شخصية الجرب (القائم بالتجريب) لها تأثير على النتائج التى يتوصل إليها . ونظرا لأن هناك عددا كبيرا من المجرىين الذين يمكنهم القيام بالتجربة مما يعوق استخدامهم جميعا فقد اختير منهم عينة عشوائية من خمسة مجرىين لإجراء التجربة تحت نفس الظروف على أن يستخدم كل منهم مجموعة من ٨ أشخاص تختار عشوائيا وعلى أن توزع المجموعات على المجرىين عشوائيا . سجلت البيانات الناتجة من التجارب الخمس فى الجدول (٨ - ٢٣) الآتى ، المطلوب بحث ما إذا كان لشخصيات المجرىين أثر على نتائج التجربة .

الجدول (٨ - ٢٣)

المجموعون				
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)
٥,٨	٦,٠	٦,٣	٦,٤	٥,٧
٥,٩	٦,١	٥,٥	٦,٤	٥,٩
٥,٧	٦,٦	٥,٧	٦,٥	٦,٥
٥,٩	٦,٥	٦,٠	٦,١	٦,٣
٥,٦	٥,٩	٦,١	٦,٦	٦,٢
٥,٤	٥,٩	٦,٢	٥,٩	٦,٤
٥,٣	٦,٤	٥,٨	٦,٧	٦,٠
٥,٧	٦,٣	٥,٦	٦,٠	٦,٣
٤٤,٠	٥٠,٦	٤٧,٢	٥٠,٦	٤٩,٣
٢٤٠,٨				

الحل :

نظرا لأن هناك عددا كبيرا من الأفراد الذين يمكنهم القيام بالتجربة ، لكل منهم شخصية تميزه عن الآخرين ، ونظرا لأننا اخترنا عينة عشوائية منهم ، فإن النموذج المناسب لهذه التجربة هو النموذج عشوائى التأثير بالصيغة (٣٤) ، ونعتبر أن لدينا خمس معالجات يمثلها خمسة مجريين .

$$\text{عامل التصحيح} = \frac{٢٤٠,٨^2}{٤٠} = ١٤٤٩,٦١٦$$

$${}^2_{6,3} + {}^2_{6,0} + \dots + {}^2_{5,9} + {}^2_{5,8} = \text{٢٢ (الكل)}$$

$$1449,616 -$$

$$\text{بدرجات حرية } 39 = 6,32$$

$$\text{٢٢ (بين المجريين)} = \frac{1}{8} ({}^2_{44,0} + {}^2_{50,6} + \dots + {}^2_{49,3}) - 1449,616$$

$$\text{بدرجات حرية } 4 = 3,47$$

$$\text{٢٢ (داخل المجريين)} = 6,32 - 3,47 = 2,85 \quad \text{بدرجات حرية } 35$$

نلخص هذه النتائج في جدول التباين الآتي :

جدول (٨ - ٢٤)

مصدر التباين	٢٢	ح د	٢ ط	التباين المتوقع	ف د
بين المجريين	3,47	4	${}^2_{ع} = 0,868$	${}^2_{1,08} + {}^2_{1,0}$	${}^{**}_{10,72}$
داخل المجريين	2,85	35	${}^2_{ع} = 0,081$	${}^2_{1,0}$	
الكل	6,32	39			

الفرض الصفري : ${}^2_{1,0} = 0$ (لا يوجد تأثير للمجريين على نتائج التجربة)

$$ف د = \frac{{}^2_{ع} = 0,868}{{}^2_{ع} = 0,081} = {}^{**}_{10,72}$$

وهذه القيمة تزيد عن القيمة الحرجة ف $[30.4]_{0.01}$ التى تقع بين ٣,٨٣ ، ٤,٠٢ ،
ولذا نرفض الفرض الصفرى عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ، ونحكم بأن هناك دليلا
كافيا على صحة القول بأن لشخصيات المجريين تأثيرا فيما يتوصلون إليه من نتائج
فى هذه التجربة . وهذه نتيجة خطيرة ينبغى أن تؤخذ فى الاعتبار عند تفسير نتائج
التجربة . وتبين هذه الخطورة أيضا إذا حسبنا النسبة التى ساهم بها التباين σ^2 من
التباين الكلى (وهو $6,32 \div 39 = 0,179$) :

من (٣٨) : التقدير غير المتحيز للتباين σ^2 هو

$$E_1 = \frac{1}{8} = (0,868 - 0,081) = 0,098$$

∴ النسبة التى ساهم بها التباين σ^2 من التباين الكلى $= \frac{0,098}{0,179} = 0,55$ وهى

نسبة كبيرة تشير إلى أن أكثر من نصف التباين الكلى يرجع إلى تأثير اختلاف
شخصيات المجريين .

ملاحظة :

يمتد استخدام النموذج عشوائى التأثيرات لتحليل التباين للتجارب ذوات العاملين
أو أكثر .

الفصل التاسع

الانحدار الخطى البسيط

SIMPLE LINEAR REGRESSION

BIVARIATE POPULATION : المجتمع ذو المتغيرين (٩ - ١)

المجتمع ذو المتغيرين هو مجتمع ننظر إليه من حيث متغيرين x ، y ، x يكونان موضع اهتمامنا في وقت ما ، فمثلاً في مجتمع من الطلاب قد نهتم بالمتغير y الذى يعبر عن نسبة الذكاء والمتغير x الذى يعبر عن درجة الطالب في مادة الإحصاء وفي مجتمع من القمح قد تعبر x عن تاريخ الزراعة وتعبر y عن مقدار المحصول الناتج ، وفي مجتمع من الأبقار قد تعبر x عن مقدار الغذاء اليومي وتعبر y عن الزيادة في الوزن بعد مدة من الزمن .

كما سبق الذكر ، يميز الإحصاء بين نوعين من المتغيرات : المتغيرات العشوائية والمتغيرات غير العشوائية ، والمتغير العشوائي هو متغير حقيقي يخضع لمؤثرات عشوائية غير منظورة ولذلك لا نستطيع التحكم فيه تجريبياً . وهذا النوع من المتغير يكون له توزيع احتمال بمعنى أنه لو كان من النوع الوثاب مثلاً فإن ظهور أى عنصر من عناصره يكون مصحوباً باحتمال ما ، أما المتغير غير العشوائي (أو الرياضي) فليس له توزيع احتمال ويمكن التحكم فيه تجريبياً أو تحديد قيمه مقدماً أو قياسها بدقة أو بخطأ يمكن إهماله .

وفي دراستنا لمجتمع xy متغيرين x ، y كثيراً ما يكون اهتمامنا منصباً على إيجاد العلاقة بينهما إن كان هناك ثمة علاقة ، وعلى محاولة وضع هذه العلاقة على

هيئة دالة ص = د (س) . وتختلف هذه الدالة بطبيعة الحال باختلاف العلاقة بين المتغيرين فقد تكون على صورة خطية ص = $\alpha + \beta$ س أو على صورة تربيعية ص = $\alpha + \beta$ س + γ س² أو على صورة أسية ص = α هـ ^{β} وهكذا ... إلا أننا سوف نقصر اهتمامنا هنا على الحالات التي تكون فيها الدالة على الصورة الخطية .

سنبنى هذه الدراسة على الافتراضين الآتيين وافتراض ثالث نقدمه في البند (٩ - ٥) ، والنموذج الذى سنستخدمه فى هذه الدراسة يسمى بالنموذج II لتحليل الانحدار .

الافتراض الأول :

« المتغير س هو متغير رياضي والمتغير ص هو متغير عشوائي » .

وهذا الافتراض يعنى من الناحية التطبيقية أننا نبدأ بتحديد قيم ثابتة س_١ ، س_٢ ، ... ، س_{١٠٠} من المتغير س ثم نقوم بملاحظة أو قياس القيم (العشوائية) المناظرة ص_١ ، ص_٢ ، ... ، ص_{١٠٠} من المتغير ص . فمثلاً قد تكون القيم السينية هى درجات حرارة معينة ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ ، ... ، ٥٠ وتكون القيم الصادية هى مقادير ما نشاهده من تمدد معدن عند هذه الدرجات . أو تكون قيم س هى أطوال أطفال عند الولادة بالسنتيمترات وتكون قيم ص هى مدد الحمل بالأيام . أو تكون قيم س هى أعماق محددة تحت سطح البحر وتكون القيم الصادية هى نسب الملوحة عند هذه الأعماق .

الافتراض الثانى :

« العلاقة بين المتغيرين س ، ص (في المجتمع) هى علاقة خطية » .

ونعني بهذا الفرض رياضياً أن يكون متوسط قيمة ص عند قيمة معينة س يأخذ الصيغة الخطية الآتية :

$$\text{لمر } \beta + \alpha = \text{س} \quad (١)$$

حيث α ، β بارامتران مجهولان ينبغي تقديرهما من العينة . هذا مع ملاحظة أنه عند أى قيمة s يمكن أن تأخذ s قيمة كثيرة لأنها كما ذكرنا تتأثر بعوامل عشوائية لا نستطيع التحكم فيها ولهذا يعبر الطرف الأيمن من الصيغة (١) عن متوسط هذه القيم وهو بالطبع أحسن قيمة تناظر القيمة s . ويسمى المتغير s بالمتغير المستقل كما يسمى المتغير s بالمتغير التابع .

إن هذا الافتراض لا يوضع إلا في الحالات التي نعلم بخبرتنا السابقة أو من معلومات خاصة أنه صحيح . ومع ذلك إذا كنا نشك في صحته فهناك طريقة إحصائية سنذكرها بعد للتحقق من سلامته .

إن مهمتنا الابتدائية في دراسة العلاقة الخطية بين متغيرين s ، s هي إيجاد أحسن تقديرين للبارامترين المجهولين α ، β الموجودين بالعلاقة (١) ، ونعتمد في ذلك كالمعتاد على تصميم تجربة على عينة من المجتمع الذى ندرسه ومنها نحصل على قيم تجريبية للمتغيرين s ، s تبدو كما يلي :

s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
ص _١	ص _٢	ص _٣	ص _٤	ص _٥

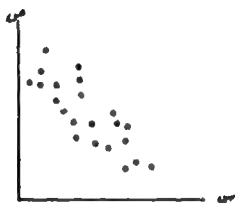
ومن هذه الأزواج من القيم نوجد التقديرين المطلوبين كما سترى بعد ، ويساعدنا التمثيل البياني لهذه الأزواج على تصور المشكلة التي نتناولها والخط الذى نشده .

SCATTERGRAM

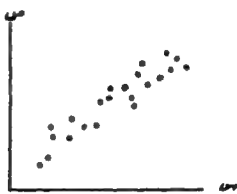
(٩ - ٢) شكل الانتشار :

على أساس أن المتغيرين s ، s حقيقيان نستطيع تمثيل أزواج القيم (s, s) التى حصننا عليها من العينة على نظام إحداثيات ذى محورين متعامدين . فيمثل كل زوج منها بنقطة معينة في المستوى ، ومجموعة النقاط الناتجة تؤلف شكلاً يسمى بشكل الانتشار . وإذا كان هناك ثمة علاقة بين المتغيرين فإن هذه النقاط لا تكون مبعثرة كيفما اتفق بل تتخذ غمطاً معيناً يوحى بوجود وطبيعة هذه

العلاقة . فإذا بدا شكل الانتشار كما في أى من الشكلين (٩ - ١ - ١) أو (٩ - ١ - ب) فإنه يشير بصفة مبدئية بأن العلاقة بين المتغيرين هي علاقة خطية ، لأننا نستطيع أن نتصور وجود خط مستقيم تقع النقط من حوله وقريبة منه وإن كانت لا تمر جميعها به .



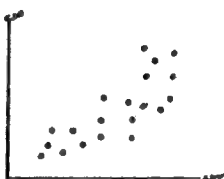
(ب) علاقة خطية سالبة



(١) علاقة خطية موجبة



(د) لا يوجد علاقة واضحة

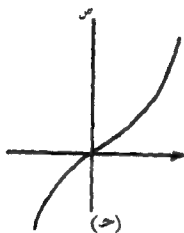


(ح) علاقة غير خطية

الشكل (٩ - ١) بعض صور شكل الانتشار

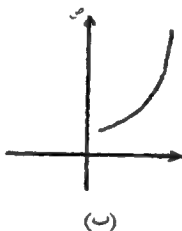
أما إذا بدا شكل الانتشار كما في أى من الشكلين (ح) ، (د) فإننا نشك في خطية العلاقة بين المتغيرين وعلينا أن نبحث عن افتراض آخر غير افتراض الخطية نتعامل به مع المتغيرين . إن معرفة الباحث بخواص المنحنيات تساعده على كشف طبيعة

العلاقة بين المتغيرين. واقتراح المعادلة التي تناسبها . وفيما يلي بعض المنحنيات التي تعاون على كشف الأنماط التي قد يشير إليها شكل الانتشار والدوال التي تعبر عنها جبرياً . وسنرى في البند (٩ - ٧) أنه يمكن تناول بعض هذه الدوال كدوال خطية بعد إجراء تحويلات مناسبة عليها .



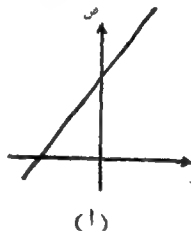
$$y = \alpha x$$

دالة تكهية



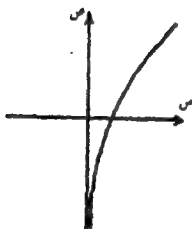
$$y = \alpha + \beta x + \gamma x^2$$

دالة تربيعية



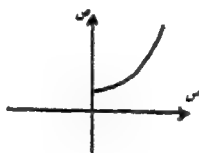
$$y = \alpha + \beta x$$

دالة خطية



$$y = \alpha + \beta \log x$$

دالة لوغاريتمية



$$y = \alpha x^\beta$$

دالة أسية



$$y = \alpha + \frac{\beta}{x}$$

دالة عكس متغير

الشكل (٩ - ٧) : بعض أنماط شكل الانتشار

(٩ - ٣) تقدير البارامترين α ، β .

نفرض أن $(س_١ ، ص_١)$ هي إحدى القيم المشاهدة في العينة . حسب الافتراض الثاني ينبغي أن تكون العلاقة بين $س_١$ ، $ص_١$ على الصورة :

$$(٢) \quad ص_١ = \alpha + \beta س_١ + خ_١$$

حيث $خ_١$ هو الفرق بين القيمة المشاهدة $ص_١$ المناظرة للقيمة $س_١$ وبين القيمة المتوقعة لها وهي $\alpha + \beta س_١$ ولذلك تسمى القيم $خ_١$ بالبواقي residuals وهي تعبر عن الأخطاء العشوائية في قياس المتغير العشوائي $ص$. ونظراً لأن هذه الأخطاء تكون بالزيادة لبعض قيم $ص$ وبالنقصان للبعض الآخر ، فإننا نفترض أن متوسط هذه الأخطاء يؤول إلى الصفر على المدى البعيد .

طريقة المربعات الصغرى : LEAST SQUARES METHOD

كما أشرنا من قبل ، إن مهمتنا الأساسية هي استخدام أزواج القيم $(س_١ ، ص_١)$ المشاهدة في العينة لإيجاد أحسن تقديرين للبارامترين α ، β . فإذا كان $ا$ ، $ب$ هما هذان التقديران فإن المعادلة :

$$(٣) \quad ص = ا + ب س$$

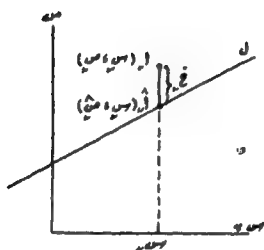
تكون معبرة أحسن تعبير عن المعادلة (١) ويكون الخط الممثل للمعادلة (٣) هو أحسن خط يلائم مجموعة نقط العينة . فإذا وفقنا في إيجاد $ا$ ، $ب$ سمى الخط (٣) بخط أحسن مطابقة line of best fit أو خط انحدار $ص$ على $س$ regression line of Y on X وأحياناً يسمى بصيغة التنبؤ prediction formula .

والطريقة الأكثر شيوعاً لإيجاد $ا$ ، $ب$ تبني على مبدأ يعرف بمبدأ المربعات الصغرى يمكن صياغته كالآتي ، مع ملاحظة الافتراض الأول عن أن قيم $س$ ثابتة وقيم $ص$ متغيرة .

« أحسن خط يلائم مجموعة النقط $(س_١, ص_١), (س_٢, ص_٢), \dots, (س_n, ص_n)$ هو ذلك الذى نحدده بحيث يكون مجموع مربعات البواقي $ص_١ - \beta س_١ - \alpha$ أصغر ما يمكن » .

من المعادلة (٢) نرى أن $ص_١ - \beta س_١ - \alpha = ٠$

ليكن $د = (\beta, \alpha)$ $ص_١ - \beta س_١ - \alpha = ٠$ $ص_٢ - \beta س_٢ - \alpha = ٠$ \dots $ص_n - \beta س_n - \alpha = ٠$ (٤)
 فإذا نظرنا للدالة (٤) على أنها دالة في المجهولين β, α فإن مبدأ المربعات الصغرى يقول إن أحسن خط هو ذلك الذى نحدد فيه قيمتاً β, α بحيث تكون قيمة هذه الدالة نهاية صغرى .



الشكل (٩ - ٣)

ويوضح هذا المبدأ هندسياً كالاتي :

لتكن $أ_١ (س_١, ص_١)$ إحدى النقط المشاهدة في العينة أى إحدى نقط شكل الانتشار ، ولتكن $أ_٢ (س_٢, ص_٢)$ هى نقطة واقعة على خط مستقيم $ل$ وتشارك مع النقطة $أ_١$ في الإحداثي السيني $س_١$.
 إن مبدأ المربعات الصغرى يقول إن الخط $ل$ يكون هو خط أحسن مطابقة إذا كان مجموع مربعات المسافات الرأسية بين النقط $أ_١, أ_٢$ نهاية صغرى ، أى إذا كانت الدالة

$$د = (\beta, \alpha) = (ص_١ - \beta س_١ - \alpha, ص_٢ - \beta س_٢ - \alpha) = ٠$$

نهاية صغرى . بطرق التفاضل المعتادة نفاضل الدالة (٤) جزئياً بالنسبة إلى كل من β, α . وبمساواة كل من الناتجين بالصفر نحصل على معادلتين آتيتين يكون

حللها معاً هما القيمتان α ، β المطلوبتان. وهاتان المعادلتان تسميان بالمعادلتين المعتادتين وتأخذان الصورتين الآتيتين :

$$\alpha + \beta = 1 \quad \alpha + \beta = 1$$

وبمجلهما معا ينتج ما يلي :

أحسن تقديرين للبارامترين α ، β من العينة هما α ، β حيث :

$$(5) \quad \alpha = \frac{n \cdot \bar{x} - \sum x_i}{n - \sum 1}$$

وحيث n هي عدد أزواج القيم (x_i, y_i) ،

$$(6) \quad \alpha = 1 - \beta$$

وبالتالى تكون معادلة الانحدار \hat{y} على x هي

$$\hat{y} = \alpha + \beta x$$

$$(7) \quad \hat{y} = \alpha + \beta x$$

حيث α معطاة بالصيغة (5) وتسمى بمعامل الانحدار α على x وهى تعبر عن ميل خط الانحدار (7) عن الاتجاه الموجب لمحور السينات .

ملاحظة (1) :

من الواضح أن خط الانحدار (7) يمر بالنقطة (\bar{x}, \bar{y}) .

ملاحظة (2) :

بقسمة كل من بسط ومقام الطرف الأيسر من (5) على $(n - 1)$ وبعد عمليات جبرية بسيطة نجد أن :

$$ب = \frac{1 - \frac{1}{n} \sum (s - \bar{s}) (\bar{s} - \bar{s})}{1 - \frac{1}{n} \sum (s - \bar{s})^2} = \frac{\sum s \bar{s}}{\sum s^2} = \frac{\text{تغاير (س ، ص)}}{\text{تباين س}} \quad (٨)$$

وفي إيجاد ب من (٥) أو (٨) يمكن أن نجمع أو نطرح أى عدد من جميع قيم س وأى عدد من جميع قيم ص دون أن تتأثر قيمة ب . وفي حالة التوزيعات التكرارية حيث يكون لكل زوج (س، ص) تكرار له نحصل على ب من أى من الصيغتين بوضع له بعد كل رمز ع .

مثال (٩ - ١) :

أوجد معادلة الانحدار ص على س من البيانات الآتية :

س :	١,٥	١,٨	٢,٤	٣,٠	٣,٥	٣,٩	٤,٤	٤,٨	٥,٠
ص :	٤,٨	٥,٧	٧,٠	٨,٣	١٠,٩	١٢,٤	١٣,١	١٣,٦	١٥,٣

ومنها أوجد أحسن تقدير لقيمة ص عندما س = ٣,٧ .

الحل :

(يلاحظ أننا لو رسمنا شكل الانتشار لوجدنا أن افتراض الخطية هو افتراض معقول) . يتطلب الحل إيجاد كل من $\sum s$ ، $\sum \bar{s}$ ، $\sum s^2$ ، $\sum \bar{s}^2$ ، $\sum s \bar{s}$ ص وهذه جميعاً نحصل عليها من الجدول (٩ - ١) الآتى .

لاحظ أن العمود الأخير لا لزوم له في إيجاد معادلة انحدار ص على س ولكنه سيلزمنا فيما بعد في تحليل الانحدار . ويمكن استخدام حاسبات الجيب للحصول على هذه المجاميع دون ضرورة لكتابة التفاصيل المبينة بالجدول وذلك توفيراً للوقت والجهد .

جدول (٩ - ١)

إيجاد معادلة خط الانحدار من بيانات المثال (٩ - ١)

س	ص	س ص	س ^٢	ص ^٢
١,٥	٤,٨	٧,٢٠	٢,٢٥	٢٣,٠٤
١,٨	٥,٧	١٠,٢٦	٣,٢٤	٣٢,٤٩
٢,٤	٧,٠	١٦,٨٠	٥,٧٦	٤٩,٠٠
٣,٠	٨,٣	٢٤,٩٠	٩,٠٠	٦٨,٨٩
٣,٥	١٠,٩	٣٨,١٥	١٢,٢٥	١١٨,٨١
٣,٩	١٢,٤	٤٨,٣٦	١٥,٢١	١٥٣,٧٦
٤,٤	١٣,١	٥٧,٦٤	١٩,٣٦	١٧١,٦١
٤,٨	١٣,٦	٦٥,٢٨	٢٣,٠٤	١٨٤,٩٦
٥,٠	١٥,٣	٧٦,٥٠	٢٥,٠٠	٢٣٤,٠٩
٣٠,٣	٩١,١	٣٤٥,٠٩	١١٥,١١	١٠٣٦,٦٥

$$\text{من الصيغة (٥) نجد أن ب} = \frac{٩١,١ \times ٣٠,٣ - ٣٤٥,٠٩ \times ٩}{(٣٠,٣) - ١١٥,١١ \times ٩} = ٢,٩٣٠٣$$

$$\text{كما أن س} = \frac{٣٠,٣}{٩} = ٣,٣٦٦٧, \text{ ص} = \frac{٩١,١}{٩} = ١٠,١٢٢٢$$

∴ معادلة الانحدار ص على س (من الصيغة ٧) هي

$$\text{ص} = ٢,٩٣٠٣ (س - ٣,٣٦٦٧) + ١٠,١٢٢٢$$

ومنها $\bar{y} = 0.2068 + 2.9303x$ س

وحيثما $s = 3.7$ فإن أحسن تقدير لقيمة s هي :

$$\bar{s} = 0.2068 + 2.9303 \times 3.7 = 11.0989$$

(٩ - ٤) الخطأ المعياري للتقدير Standard Error of Estimate

كما هو الحال عند دراسة بيانات عن متغير واحد حيث نصف هذه البيانات بواسطة الوسط الحسابي الذي يعطى تقديراً لمتوسط هذه البيانات ثم ندعم هذا الوصف بتقدير التشتت بواسطة الانحراف المعياري ، فإننا نصف البيانات ذوات المتغيرين بواسطة خط الانحدار الذي يعطى تقديراً لمتوسطات قيم s عند قيم s ونستكمل هذا الوصف بتقدير مدى تشتت نقط شكل الانتشار حول هذا الخط . ويقاس هذا التشتت بما يسمى بالخطأ المعياري لتقدير s من معادلة الانحدار (٧) ، ويرمز له بالرمز $s_{\bar{y}}$ ويعرف كالآتي :

$$s_{\bar{y}} = \frac{1}{n-2} s^2 (1 - r^2) \quad (٩)$$

وهذا المقياس له أهمية كبرى في عمليات الاستنتاج الإحصائي كما سنرى بعد .
ملاحظة :

يمكن إثبات أن .

$$s_{\bar{y}}^2 = \frac{1}{n-2} (s^2 - 1 - 2s + 2s^2) \quad (١٠)$$

وهذه الصيغة أسهل في حساب الخطأ المعياري من الصيغة (٩) وتستخرج من نفس المجموع التي نوجدتها لحساب معادلة الانحدار .

مثال (٩ - ٢) :

أوجد الخطأ المعياري لخط الانحدار الناتج في المثال (٩ - ١) السابق .

الحل :

نعوض في الصيغة (١٠) من مجاميع الجدول (٩ - ١) بالقيمتين

$$١ = ٢,٥٦٨ ، ب = ٢,٩٣٠٣$$

$$ع_{\text{م.س}} = \frac{1}{٧} (٣٤٥,٠٩ \times ٢,٩٣٠٣ - ٩١,١ \times ٢,٥٦٨ - ١٠٣٦,٥٦) =$$

$$= ٠,٢٩١٢$$

$$\therefore ع_{\text{م.س}} = ٠,٥٣٩٦ \text{ (الخطأ المعياري مقدراً من العينة)}$$

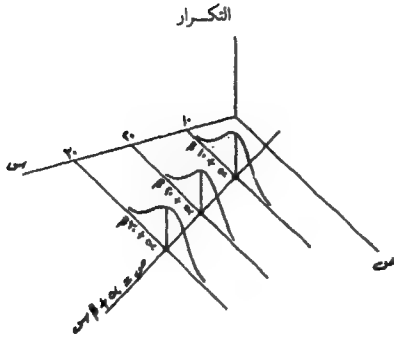
(٩ - ٥) استنتاجات إحصائية :

إن إيجاد معادلة الانحدار الخطي لم يستلزم إلا وضع الافتراضين الأول والثاني السابق ذكرهما ، أما إذا أردنا القيام باستنتاجات إحصائية أى إصدار قرارات عن المجتمع عن طريق العينة فإن ذلك يتطلب وضع افتراض خاص عن توزيع احتمال المتغير العشوائي $ص$. وفي المعتاد نضع الافتراض الآتي (الذي يمكن هو أيضاً اختبار صحته) .

الافتراض الثالث :

« عند أى قيمة ثابتة $س$ يكون للمتغير العشوائي $ص$ توزيع معتدل متوسطه $\alpha + \beta س$ وتباينه عدد ثابت مجهول σ^2 مستقل عن $س$. »

ويمكن تصوير هذا الافتراض كالآتي :



الشكل (٩ - ٤) توزيعات معدلة للمطير مع عدد $s = 10, 20, 30$

ويلاحظ ما يلي :

(أ) متوسطات التوزيعات الصادية تختلف باختلاف قيم s وهي تقع جميعها على خط الانحدار .

(ب) جميع التوزيعات الصادية متوازية ولها نفس الشكل لأن لها نفس التباين وتختلف فقط في مواقعها كما جاء في (أ) .

من الافتراضات الثلاثة المذكورة ، بالإضافة إلى افتراض العشوائية الذي يضمن استقلال وحدات التجريب عن بعضها البعض ، يمكن أن نخرج بعدة استنتاجات نختار منها ما يلي :

(أولاً) اختبار الفرض $\beta = k$ حيث k عدد معين .

للوصول إلى خط الانحدار $\hat{y} = a + b \cdot x$ نوجد معامل الانحدار b من واقع بيانات مأخوذة من عينة ما ، وإذا اخترنا عينة أخرى نحصل على قيمة مختلفة

لهذا المعامل . أى أن قيمة β تختلف من عينة إلى أخرى ، ولذلك نعتبر أن أى قيمة للمعامل β هي إحدى القيم المشاهدة من متغير عشوائى B ذى عدد غير منتهى من القيم . وتحت الافتراضات الثلاثة للانحدار يمكن إثبات أن لهذا المتغير توزيعا معتدلا وسطه الحسابى β وانحرافه المعيارى يقدر بالمقدار $\sigma_{\beta} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ حيث σ هو الخطأ المعيارى للتقدير المعطى بالصيغة (٩) وحيث

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

وينتج من البند (٦ - ٦) أن الإحصاءة

$$(11) \quad T = \frac{\beta - B}{\sigma_{\beta}}$$

يكون لها توزيع ت بدرجات حرية $(n-2)$. وبهذه الإحصاءة نستطيع كالمعتاد اختبار الفرض الصفرى $F: \beta = 0$ ضد أى فرض آخر وذلك بإيجاد T من بيانات العينة أى بوضع $B = 0$ وعلى أساس صحة الفرض الصفرى أى بوضع $\beta = 0$ ثم مقارنة هذه القيمة بالقيمة الحرجة $T_{\alpha, n-2}$ التى نستخرجها من جدول ت .

نتيجة : اختبار خطية العلاقة بين y ، x .

بصفة خاصة نستطيع اختبار الفرض الصفرى $F: \beta = 0$ ضد الفرض $\beta \neq 0$. فإذا أشار الاختبار بقبول الفرض الصفرى حكمنا بعدم وجود علاقة خطية بين y ، x لأن معنى $\beta = 0$ أن تكون y أى x تكون ثابتة ولا يكون لقيم y أى x أثر خطى على x . أما إذا رفضنا الفرض الصفرى لصالح الفرض

الآخر $\beta \neq 0$. نحكم بأن هناك علاقة خطية بين المتغيرين وإن كان هذا لا يمنع من وجود علاقة أخرى قد تكون أفضل من العلاقة الخطية مثل $\alpha + \beta$ وهناك اختبار آخر نعرف منه مدى انحراف العلاقة الحقيقية بين y و x ، $\alpha + \beta$ عن العلاقة الخطية ، وسندعم هذا الاختبار في البند (٩ - ٩) .

مثال (٩ - ٣) :

ابحث وجود علاقة خطية بين المتغيرين y و x ، $\alpha + \beta$ من بيانات المثال (٩ - ١) مستخدماً مستوى الدلالة ٠,٠١ .

الحل :

الفرض الصفري $F_0 : \beta = 0$ (لا يوجد علاقة خطية)
الفرض الآخر $F_1 : \beta \neq 0$ (اختبار ذو جانبيين)

$$t_{\alpha/2, n-2} = \frac{\bar{y} - \alpha - \beta \bar{x}}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{110,11 - \alpha - \beta \cdot 30,3}{\frac{s}{\sqrt{9}}}$$

$$= 13,1$$

$$\therefore \sqrt{3,6194} = t_{\alpha/2, n-2}$$

كما أن $t_{\alpha/2, n-2} = 0,5396$ وقد سبق إيجادها

من (١١) وعلى أساس أن $\beta = 0$ نجد أن :

$$t = \frac{110,11 - \alpha - \beta \cdot 30,3}{\frac{s}{\sqrt{9}}} = \frac{110,11 - \alpha - 0 \cdot 30,3}{\frac{s}{\sqrt{9}}} = 19,6502$$

من الجدول $t_{\alpha/2, n-2} = 3,499$

نرفض F_0 ونحكم بأن هناك علاقة خطية بين المتغيرين .

مثال (٩ - ٤) :

في بيانات المثال (٩ - ١) ابحث ما إذا كانت $\beta < ٢,٥$ عند مستوى الدلالة ٠,٠١

الحل :

$$\beta = ٢,٥$$

$$\beta < ٢,٥ \quad (\text{اختبار ذو جانب واحد})$$

من (١١) وعلى أساس صحة الفرض الصفري $\beta = ٢,٥$ نجد أن

$$ت = \frac{٣,٦١٩٤ \times (٢,٥ - ٢,٩٣٠٣)}{٠,٥٣٩٦} = ٢,٨٨٦٣$$

$$٢,٩٩٨ = ت_{٠,٠٢, ٧٧}$$

نقبل الفرض الصفري أن $\beta = ٢,٥$ عند المستوى ٠,٠١ ونحكم بأن β لا تزيد عن ٢,٥ .

(ثانياً) فترات الثقة للبارامتر β .

من الإحصاءة (١١) نستطيع أن نثبت أن العددين

$$(١٢) \quad \bar{y} \pm \frac{t_{\alpha/2, n-1} \times \frac{s}{\sqrt{n}}}$$

هما حدا الثقة بدرجة $(١ - \alpha)$ للبارامتر β .

(ثالثاً) فترات الثقة للقيمة الحقيقية للمتغير μ عند قيمة معينة μ_0 :

يمكن إثبات أن العددين

$$(13) \quad \bar{x} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad \text{حيث } z_{\alpha/2} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\alpha/2}}$$

هما حدا الثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ لقيمة μ عندما تأخذ μ_0 القيمة μ .

مثال (٩ - ٥) :

للمثال (٩ - ١) أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لكل من :

(أ) البارامتر β (ب) القيمة الحقيقية للمتغير μ عند $\mu_0 = 2$

الحل :

(أ) نعوض في (١٢) مع ملاحظة أن $n = 10$ ، $\bar{x} = 2,365$

$$\text{الحدا الأدنى للفترة} = 2,365 \times \frac{0,0396}{3,6194} - 2,9303 = 2,078$$

$$\text{الحدا الأعلى للفترة} = 2,365 \times \frac{0,0396}{3,6194} + 2,9303 = 3,283$$

إذن الفترة (٢,٠٧٨ ، ٣,٢٨٣) هي فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للبارامتر β .

(ب) نعوض في (١٣) ، مع ملاحظة أنه عندما $\mu_0 = 2$ فإن

$$\bar{x} = 2,9303 + 0,2068 = 3,1371$$

$$\text{الحدا الأدنى للفترة} = 3,1371 - 0,0396 \times \frac{1}{\sqrt{10}} \sqrt{\frac{(10-1)(3,3667-2)^2}{0,05}} = 2,689$$

$$= 2,689 = 2,365 \times 1,197 \times 0,0396 - 3,1371$$

الحد الأعلى للفترة = ٧,٥٤٦

إذن الفترة (٤,٦٨٩ ، ٧,٥٤٦) هي فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لقيمة σ عند $\sigma = ٢$

ملاحظة :

هناك برامج جاهزة للحاسب الالكتروني تعطى جميع القيم المطلوبة في تحليل الانحدار بدءاً من قيم الصيغة (٥) إلى قيم الصيغة (١٣) بمجرد تغذيته بالبيانات الخام .

(٩ - ٦) التوسع في استخدام الانحدار الخطى البسيط :

يمكن تناول بعض العلاقات غير الخطية بنفس الطريقة التي نتناول بها العلاقات الخطية وذلك باختيار تحويلات مناسبة للمتغيرات بحيث تأخذ العلاقة المعطاة الصورة الخطية . وكمثال لذلك نفرض أن العلاقة بين المتغيرين σ ، σ على الصورة :

$$\sigma = \alpha + \beta \sigma \quad \text{حيث } \alpha < 0 , \sigma < 0$$

ونريد تقدير α ، β من العينة . بأخذ لوغاريتم كل من الطرفين للأساس e نجد أن :

$$\text{لو } \sigma = \text{لو } (\alpha + \beta \sigma)$$

$$\text{أو } \overline{\sigma} = \text{لو } (\alpha + \beta \sigma)$$

$$\text{حيث } \overline{\alpha} = \text{لو } \alpha , \overline{\sigma} = \text{لو } \sigma$$

وهذه العلاقة الأخيرة على صورة خطية . لإيجاد تقديرين α ، β للمجهولين ، نبدأ بتحويل كل قيمة α إلى β فيصبح لدينا الأزواج (α ، β) بدلاً من الأزواج (α ، β) . نوجد التقديرين α ، β كالمعاد من الصيغتين (٥ ، ٦) فتكون α تقديرًا للبارامتر β وتكون β هي تقدير للبارامتر α وتكون معادلة الانحدار هي :

$$\alpha = \beta$$

وبنفس الطريقة يمكن تناول المعادلات الآتية :

$$\alpha = \beta + \alpha \quad \text{حيث } \alpha \neq 0 \quad (\text{ضع } \alpha = \beta \text{ في التحويل القالب})$$

$$\alpha = \beta \quad \text{حيث } \alpha < 0 , \beta < 0 , \alpha < 0 \quad (\text{تحويل لوغاريتمي})$$

$$\alpha = \beta + \alpha \quad \text{حيث } \alpha = 3 \quad (\text{ضع } \alpha = 3 \text{ في التحويل القالب})$$

$$\alpha = \beta \quad \text{حيث } \alpha < 0 , \beta < 0 , \alpha < 0 \quad (\text{تحويل لوغاريتمي})$$

مثال (٩ - ٦) :

المعروف أن العلاقة بين ضغط الغاز α وحجمه β تأخذ الصورة $\alpha = \beta$ أوجد تقديرًا للبارامترين المجهولين α ، β من البيانات التجريبية الآتية ثم أوجد أحسن تقدير لضغط الغاز حين يكون حجمه $\alpha = 100$

ح : ١٩٤,٠ ١١٨,٦ ٨٨,٧ ٧٢,٤ ٦١,٨ ٥٤,٣

ض : ١٠,١ ١٩,٢ ٢٨,٤ ٣٧,٦ ٤٩,٥ ٦١,٢

الحل :

نحول المعادلة من $\alpha = \beta$ إلى صورة خطية بأخذ لوغاريتم كل من الطرفين للأساس ١٠ .

$$\therefore \text{لو ض} + \beta = \text{لو ح} = \text{لو} \alpha \quad \text{أو} \quad \text{لو ض} = \text{لو} \alpha - \beta = \text{لو ح}$$

$$\text{أو} \quad \bar{\alpha} = \bar{\beta} + \text{س}$$

$$\text{حيث} \quad \text{س} = \text{لو ض} , \quad \bar{\alpha} = \text{لو} \alpha , \quad \bar{\beta} = \text{لو} \beta , \quad \text{س} = \text{لو ح}$$

لتقدير بارامترات هذه المعادلة الخطية ينبغي أن نوجد لوغاريتم كل قيمة معطاة من قيم الحجم ح ولوغاريتم كل قيمة مناظرة من قيم الضغط ص . وباستخدام جداول اللوغاريتمات أو الحاسبات نحصل على العمودين الأول والثاني من الجدول الآتي ، ثم نستكمل الحساب كما في المثال (٩ - ١) .

الجدول (٩ - ٢)

س = لو ح	س - لو ض	س'	س ص
٢,٢٨٧٨	١,٠٠٤٣	٥,٢٣٤٠	٢,٢٩٧٦
٢,٠٧٤١	١,٢٨٣٣	٤,٣٠١٩	٢,٦٦١٧
١,٩٤٧٩	١,٤٥٣٣	٣,٧٩٤٣	٢,٨٣٠٩
١,٨٥٩٧	١,٥٧٥٢	٣,٤٥٨٥	٢,٩٢٩٤
١,٧٩١٠	١,٦٩٤٦	٣,٢٠٧٧	٣,٠٣٥٠
١,٧٣٤٨	١,٧٨٦٨	٣,٠٠٩٥	٣,٠٩٩٧
١١,٦٩٥٣	٨,٧٩٧٥	٢٣,٠٠٥٩	١٦,٨٥٤٣

$$\bar{S} = 1,9492 \text{ ، } \bar{V} = 1,4663$$

على فرض أن \bar{A} ، \bar{B} هما التقديران المطلوبان للثابتين α ، β نجد ما يلي :

$$\text{من الصيغة (5) : } \bar{B} = \frac{8,7970 \times 11,7953 - 17,8543 \times 6}{(11,7953) - 23,009 \times 6}$$

$$= 1,40$$

$$\text{من الصيغة (6) : } \bar{A} = \bar{V} - \bar{B} \bar{S} = 1,4663 - 1,40 \times 1,9492$$

$$= 4,1952 = 4,2 \text{ تقريباً}$$

$$\text{إذن } \bar{B} = \bar{B} - \bar{B} = 1,40$$

$$\bar{A} = 10,12 = 10,12 = 10,12 \text{ تقريباً}$$

وهذان هما التقديرات المطلوبان للثابتين α ، β وعلى ذلك فإن المعادلة التي تربط الحجم والضغط الناتجة من العينة هي :

$$V = 10,12 P$$

وحين $P = 100$ فإن أحسن تقدير للضغط ض ينتج كالآتي :

$$V = 10,12 \times 100 = 1012 \text{ ومنها ض } = 10,12 \times 100 = 1012$$

$$\text{إذن ض } = 25,12 \text{ تقريباً .}$$

تمارين (٩ - ١)

من كل من البيانات المبينة في المسائل الخمسة الآتية :

- (١) أوجد معادلة الانحدار ص على س .
 (ب) أوجد الخطأ المعياري ع.س. لخط الانحدار .
 (ج) ابحث ما إذا كان هناك علاقة خطية بين المتغيرين ص ، ص .
 (د) إذا ثبت وجود علاقة خطية فأوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ للقيمة الحقيقية للمتغير ص عند القيمة س المعطاة .

(١) س : ٢,٨ ٢,٩ ٣,٠ ٣,١ ٣,٢ ٣,٢ ٣,٢ ٣,٣ ٣,٤
 ص : ٢٧ ٢٣ ٣٠ ٢٨ ٣٠ ٣٢ ٣٤ ٣٣ ٣٠

حيث س ترمز إلى كثافة الحديد الخام (جرام / سم^٣)
 ، ص ترمز إلى النسبة المئوية لمحتوى الحديد .
 س = ٣ ،

(٢) س : ٤٨ ٤٩ ٥٠ ٥١ ٥٢
 ص : ٢٧٧,١ ٢٧٩,٣ ٢٨١,٤ ٢٨٣,٢ ٢٨٤,٨

حيث س ترمز إلى طول الطفل عند الولادة بالسنتيمترات
 ، ص ترمز إلى مدة الحمل بالأيام .
 س = ٥٠ ،

(٣) س : ٨ ٩ ٩ ١٢ ١٣ ١٤ ١٤ ١٦ ١٦ ١٦
 ص : ٥٥- ٥٥- ٥٣- ٥٠- ٥٠- ٣٥- ٣٧- ٣٥- ٢٧- ٢٤-

حيث s ترمز إلى درجات الحرارة بالسنتيجراد
 s ترمز إلى الانحراف (بمضاعفات الـ $\frac{1}{1000}$ زاوية دائرية) لنوع معين
 من الرؤية التلسكوبية .

$$s = 13,5$$

$$(4) s : \quad 15 \quad 30 \quad 60 \quad 120 \quad 300 \quad 600$$

$$ص : \quad 4,0 \quad 6,3 \quad 5,2 \quad 6,4 \quad 5,5 \quad 6,4$$

حيث s ترمز إلى المدة بالثواني
 s ترمز إلى مقدار المادة التي تبددت (بالجرامات في اللتر) من استهلاك
 الزيت في محلول زيتريت الصديون بتأثير الاهتزاز الناتج من الصوت عن ذبذبات
 فوق الصوتية في المدة s .

$$s = 70$$

$$(5) s : \quad 0,01 \quad 0,02 \quad 0,04 \quad 0,08 \quad 0,15 \quad 0,30 \quad 0,50 \quad 1,00 \quad 2,00$$

$$ص : \quad 12 \quad 18 \quad 3 \quad 27 \quad 16 \quad 13 \quad 10 \quad 70 \quad 90$$

حيث s ترمز إلى النسبة المئوية لدرجة تركيز الكلورونافثالين
 s ترمز إلى النسبة المئوية لموت الحبل الأبيض .

$$s = 0,25$$

(6) في عينة عشوائية من 8 أزواج من القيم (s_1 ، s_2) وجد أن معامل الانحدار

$$b = 0,31 \quad \text{وأن } \sigma_{s_1 s_2}^2 = 0,4 \quad , \quad \sigma_{s_1}^2 = 0,3$$

اختبر الفرض أن $\beta = 0$ ضد الفرض أن $\beta < 0$.

(٩ - ٧) معنى آخر للانحدار - تحليل التباين :

في البنود السابقة من هذا الفصل كنا نأخذ الانحدار على أنه وسيلة لإيجاد معادلة تمكننا من معرفة أحسن تقدير لقيمة متغير عشوائى y عن طريق قيمة معطاة للمتغير x . ولذلك وصفنا معادلة الانحدار بأنها معادلة تنبؤ . إلا أن الانحدار يؤخذ أيضا على أنه وسيلة لتفسير الاختلاف المشاهد في قيم المتغير y ، وذلك استجابة لتساؤل هام عن العوامل المؤثرة في هذا الاختلاف ، وبصفة خاصة عما إذا كان هذا الاختلاف يرجع إلى التغير في قيم المتغير x أم يرجع إلى عوامل عشوائية أو عوامل أخرى لا تتعلق بالمتغير x .

إن الإجابة عن هذا التساؤل تتطلب تحليل الاختلاف في قيم y وهو $\sum (y_i - \bar{y})^2$ (ص) = $\sum (y_i - \bar{y})^2$ إلى مركبتين مستقلتين تعتمد أحدهما على قيم المتغير x ولا تعتمد الأخرى عليها ثم تقييم كل من هاتين المركبتين .

وليبيان كيفية هذا التحليل نعتبر المتساوية الآتية :

$$y_i - \bar{y} = (y_i - \hat{y}_i) + (\hat{y}_i - \bar{y})$$

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad \text{حيث } i = 1, 2, \dots, n$$

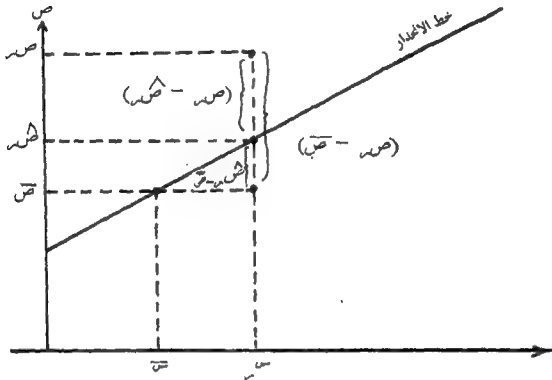
إن هذه المتساوية واضحة جبريا ، كما أنها تتضح هندسيا من الشكل (٩ - ٥) مع ملاحظة أن النقطة (\bar{x}, \bar{y}) تقع دائما على خط الانحدار . وبترتيب طرفي المتساوية ثم الجمع تنتج المتساوية الآتية :

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (١٤)$$

مع ملاحظة أن الحد الأوسط في عملية تربييع الطرف الأيسر ينعدم عند عملية

الجمع . وبذلك نكون قد جزأنا الاختلاف الكلى فى ص إلى مركبتين بطريقة مشابهة لتقسيم الاختلاف الكلى فى تحليل التباين .

لنبحث الآن فى المعنى الذى تتضمنه كل من هاتين المركبتين .



الشكل (٩ - ٥) : تقسيم الاختلاف فى المتغير ص

الاختلاف المفسر والاختلاف غير المفسر

EXPLAINED AND UNEXPLAINED VARIATION

من الشكل (٩ - ٥) نرى أننا إذا رسمنا خط الانحدار وحددنا قيمة معينة \bar{S} فإن قيمة \hat{Y} المناظرة تكون قد تحددت تماماً لأنها تقع على خط الانحدار ويكون الفرق $(\hat{Y} - \bar{Y})$ بين \hat{Y} والقيمة الثابتة \bar{Y} هو فرق يعتمد كلية على قيمة \bar{S} وبالتالي فإن مجموع مربعات الفروق $\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2$ يعتمد كلية على قيم المتغير S . ولما كان هذا المقدار هو جزء من الاختلاف الكلى فى Y كما يظهر من المتساوية (١٤) فإن $\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2$ يكون هو الجزء من الاختلاف فى Y

الذى يُعزى إلى التغير فى s ، أى إلى التغير الذى حدث فى v نتيجة للتغير فى s ، وهذا ما نسميه بانحدار v على s ولذلك نرمز لهذا الاختلاف بالرمز m (الانحدار الخطى) وله درجة واحدة من درجات الحرية . ولما كان هذا الاختلاف مصدره معروف (وهو التغير فى s) فقد اصطلح على تسميته أيضا بالاختلاف المفسر ونكتبه رمزيا كالآتى :

الاختلاف المفسر = m م (الانحدار) = m (\bar{v} - \bar{v}_s)^٢ بدرجة حرية واحدة (١٥)
ويمكن إثبات أن هذا الاختلاف يمكن أن يحسب كالآتى :

الاختلاف المفسر = $b^2 m$ (s) حيث b معامل الانحدار (١٦)

$$\text{أو} \quad \frac{[\sum (v - \bar{v}_s)^2]}{m} = \quad (١٧)$$

$$\text{حيث } b^2 m (s) = m (s - \bar{s})^2 = m s^2 - \frac{(\sum s)^2}{n}$$

$$b^2 m (s, v) = m (s - \bar{s})(v - \bar{v}_s) = m s v - \frac{(\sum s)(\sum v)}{n}$$

أما المركبة الثانية وهى m (\bar{v} - \bar{v}_s)^٢ فهى الاختلاف الذى يتبقى بعد طرح الاختلاف المفسر من الاختلاف فى v ، وهو يعتمد على عوامل مجهولة لا تتعلق بالتغير s . وقد اصطلح على تسمية هذا الاختلاف بالاختلاف المتبقى $\text{residual variation}$ أو بالاختلاف غير المفسر . ومع تذكر أن \bar{v}_s هى قيم عشوائية فإن هذا الاختلاف يعبر عن التشتت غير المنتظم لنقط شكل الانتشار حول خط الانحدار أى عن الانحرافات الرأسية حول خط الانحدار وسنرمز له بالرمز m (الانحراف عن خط الانحدار) وله $n - 2$ من درجات الحرية . أى أن

الاختلاف غير المفسر = ٢٢ (الانحراف عن خط الانحدار)

$$= \sum (ص - \hat{ص})^2$$

$$= ٢٢ (ص) - \text{الاختلاف المفسر} \quad (١٨)$$

والمعنى الذى يتضمنه هذا الاختلاف يبرر استخدامه كأساس لحساب الخطأ المعيارى $\sigma_{\text{ع.م.}}$ الوارد فى الصيغة (٩) بالبند (٩ - ٤) ، حيث

$$\sigma_{\text{ع.م.}}^2 = \frac{\sum (ص - \hat{ص})^2}{\text{درجات الحرية}} = \frac{\text{الاختلاف غير المفسر}}{٢ - ١} \quad (١٩)$$

نستطيع حينئذ أن نكتب المتساوية (١٤) كالآتى :

$$\sum (ص) = \sum (الانحدار الخطي) + \sum (الانحراف عن خط الانحدار) \quad (٢٠)$$

بدرجات حرية ١ - ١ ، ١ ، ٢ - ٢ على الترتيب .

ويفضل تسجيل قيم هذه المتساوية فى جدول التباين الآتى .

الجدول (٩ - ٣)

جدول التباين للانحدار

مصدر التباين	٢٢	د ح	ط ٢	د ف
الاختلاف المفسر (الانحدار الخطي)	$\sum (ص - \hat{ص})^2$	١	$\sum (ص - \hat{ص})^2$	$\frac{\sum (ص - \hat{ص})^2}{١}$
الاختلاف غير المفسر (الانحراف عن الخطية)	$\sum (ص - \hat{ص})^2$	٢ - ١	$\sum (ص - \hat{ص})^2$	$\frac{\sum (ص - \hat{ص})^2}{٢ - ١}$
الاختلاف الكلى فى ص	$\sum (ص - \bar{ص})^2$	١ - ١		

بعد تجزئ الاختلاف الكلى فى ص بهذه الصورة يبقى أن نختبر ما إذا كان الانحدار الخطى قد فسر جزءا ذا بال من هذا الاختلاف ، أى أن نختبر ما إذا كان التباين المفسر أكبر كبرا جوهريا من تباين الاختلاف غير المفسر . وهذا ما نقيسه باختبار ف بالصيغة الآتية بشرط توفر افتراضات الانحدار ، ومع ملاحظة أن هذين التباينين هما تقديران مستقلان للتباين σ^2 لتوزيع المتغير ص .

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} \quad \text{بدرجتى حرية } 1, n - 2 \quad (21)$$

وهذا الاختبار يكافئ اختبار ت الوارد بالصيغة (١١) بالبند (٩ - ٥) لاختبار وجود علاقة خطية بين المتغيرين ص ، ص أى لاختبار الفرض الصفرى $\beta = 0$. ضد الفرض $\beta \neq 0$. ويمكن اشتقاق أى منهما من الآخر ، إذ أن قيمة ف بالصيغة (٢١) تساوى مربع قيمة ت بالصيغة (١١) . وبذلك نكون قد توصلنا إلى طريقة أخرى لاختبار وجود علاقة خطية بين المتغيرين .

وجدير بالذكر أن الصيغة (٢١) هى صيغة عامة لاختبار مدى دقة التنبؤ من خط الانحدار مهما كان عدد المتغيرات المستقلة المستخدمة فى عملية التنبؤ، وتختلف طريقة حساب البسط والمقام فى هذه الصيغة باختلاف عدد المتغيرات التنبؤية .

مثال (٩ - ٧) :

ابحث وجود علاقة خطية بين المتغيرين ص ، ص من بيانات المثال (٩ - ١) مستخدما طريقة تحليل التباين .

الحل :

الفرض الصفرى : $\beta = 0$ الفرض الآخر : $\beta \neq 0$.

من الجدول (٩ - ١) نستطيع حساب القيم اللازمة لاستخدام الصيغة (٢١) كالآتي :

$$٢٢ \text{ ص} = ١٠٣٦,٦٥ - \frac{٩١,١^2}{٩} = ١١٤,٥١٥٦$$

$$٢٢ \text{ س} = ١١٥,١١ - \frac{(٣٠,٣)^2}{٩} = ١٣,١$$

$$٢ \text{ ص ، س} = ٣٤٥,٠٩ - \frac{٩١,١ \times ٣٠,٣}{٩} = ٣٨,٣٨٦٧$$

$$\text{من (١٧) : الاختلاف المفسر} = \frac{(٣٨,٣٨٦٧)}{١٣,١} = ٢,٩٤٨٣٩$$

$$\therefore \text{الاختلاف غير المفسر} = ١١٤,٥١٥٦ - ١١٢,٤٨٣٩$$

$$٢,٠٣١٧ = ٢,٩٤٨٣٩ - ٠,٩١٦٤٩$$

وينشأ جدول التباين الآتي :

الجدول (٩ - ٤)

مصدر التباين	٢٢	د ح	٢ ط	ن ذ
الاختلاف المفسر	١١٢,٤٨٣٩	١	١١٢,٤٨٣٩	٣٨٧,٦٠٨
الاختلاف غير المفسر	٢,٠٣١٧	٧	٠,٢٩٠٢	
الاختلاف الكلي	١١٤,٥١٥٦	٨		

إن القيمة $F = 387,608$ أكبر بكثير من القيمة الحرجة $F_{0.01}(7,1) = 12,2$ مما يجعلنا نرفض الفرض الصفري عند مستوى عالى من الدلالة ونحكم بوجود علاقة خطية بين المتغيرين .

نلاحظ أن الجذر التربيعى لقيمة F وهو $\sqrt{387,608} = 19,688$ يساوى قيمة $t = 19,652$ السابق إيجادها بالمثال (٩ - ٣) ويرجع الفرق بين القيمتين إلى أخطاء التقريب .

معامل التحديد COEFFICIENT OF DETERMINATION

استكمالاً للانحدار كوسيلة لتفسير الاختلاف فى قيم المتغير التابع y يهمن أن نقدر نسبة الاختلاف الذى فسره الانحدار الخطى إلى الاختلاف الكلى فى المتغير y . وهذه النسبة تسمى بمعامل التحديد ويرمز لها بالرمز r^2 . أى أن :

$$r^2 = \frac{\text{الاختلاف المفسر}}{\text{الاختلاف الكلى}} \quad (٢٢)$$

ففى المثال السابق نجد أن :

$$r^2 = \frac{112,4839}{114,0106} = 0,982 \text{ تقريباً}$$

وهذا يعنى أن الانحدار الخطى قد فسر حوالى ٩٨,٢% من الاختلاف الكلى أى جزءاً جوهرياً منه ، مما يؤكد صحة العلاقة الخطية بين المتغيرين . ويرمز لمعامل التحديد بالرمز r^2 لأنه يساوى مربع معامل الارتباط r الذى سنتناوله فى الفصل التالى . ونلاحظ أن

$$0 \leq r^2 \leq 1$$

لأن كلا من البسط والمقام فى التعريف (٢٢) هو مجموع مربعات لا يمكن أن يكون سالباً وإذاً $r^2 \geq 0$ كما أن البسط جزء من المقام كما يتضح من المتساوية

(١٤) واذن $r \geq 1$. وإذا كانت $r = 0$ فإن هذا يعنى أن الانحدار الخطى لا يفسر شيئاً من الاختلاف فى ص ولا يكون للمتغير فى س أى أثر فى التغير فى ص . أما إذا كانت $r = 1$ فإن هذا يعنى أن الانحدار قد فسر الاختلاف فى ص بأكمله ، وهذا يحدث حين تكون القيم المشاهدة ص مساوية للقيم المناظرة ضرب المقدرة من معادلة الانحدار ، أى تكون النقط (س ، ص) المشاهدة واقعة جميعها على خط الانحدار . وحين تكون قيمة r صغيرة فإن هذا يعنى أن الجزء الأكبر من الاختلاف فى ص يرجع إلى عوامل ومتغيرات لا تدخل فى الانحدار أى لا علاقة لها بالتغير فى المتغير المستقل ص .

من الصيغة (١٧) يمكن أن نكتب معامل التحديد بدلالة مجاميع المربعات ومجاميع حواصل الضرب كالتالى :

$$(23) \quad r^2 = \frac{\sum (ص - \bar{ص}) (س - \bar{س})}{\sum (ص - \bar{ص})^2 \cdot \sum (س - \bar{س})^2}$$

هذا ويمكن كتابة اختبار ف بالصيغة (٢١) بدلالة معامل التحديد كالتالى :

$$F = \frac{\frac{\text{التباين المفسر}}{\text{الاختلاف المفسر} \div 1}}{\frac{\text{التباين غير المفسر}}{\text{الاختلاف غير المفسر} \div (n - 2)}} = \frac{\text{الاختلاف المفسر}}{\text{(الاختلاف الكلى - الاختلاف المفسر)} \div (n - 2)}$$

وبقسمة كل من البسط والمقام على الاختلاف الكلى $\sum (ص - \bar{ص})^2$ ينتج أن

$$(24) \quad F = \frac{r^2}{(1 - r^2) / (n - 2)}$$

وهذه صيغة ثالثة لاختبار وجود علاقة خطية بين متغيرين .

(٩ - ٨) تحليل الانحدار حين يكون هناك أكثر من قيمة ص لكل قيمة س .

في الأمثلة والتمارين السابقة كانت التجربة تحدد قيمة عشوائية واحدة ص لكل قيمة ثابتة س . إلا أن بعض الأبحاث تفضل تصميم التجربة بحيث نحصل منها على أكثر من قيمة عشوائية من المتغير ص لكل قيمة من قيم المتغير س ، خاصة وأن هذا التصميم يوفر لنا الفرصة للحكم على جودة العلاقة المفروضة بين المتغيرين كما سنرى في البند (٩ - ٩) .

فإذا كان هناك ك من القيم السينية S_1, S_2, \dots, S_k ، س يكون لدينا ك من المجموعات الصادية المناظرة لها ، وتتخذ البيانات في هذه الحالة الصورة المبينة بالجدول (٩ - ٥) والتي تشبه الصورة التي يتخذها تحليل التباين للتجارب ذوات العامل الواحد .

الجدول (٩ - ٥)

س _١	س _٢	...	س _٣	...	س _ك
ص _{١١}	ص _{٢١}	...	ص _{٣١}	...	ص _{ك١}
ص _{١٢}	ص _{٢٢}	...	ص _{٣٢}	...	ص _{ك٢}
...
...
ص _{١٤}	ص _{٢٤}	...	ص _{٣٤}	...	ص _{ك٤}
...
...
ص _{١٥}	ص _{٢٥}	...	ص _{٣٥}	...	ص _{ك٥}

وإذا تبنينا نفس الافتراضات الثلاثة للانحدار الخطي فإن أسلوب التحليل يسير على نفس النمط السابق تقديمه مع بعض التعديلات التي يقتضيها الوضع الجديد للبيانات كما يتبين من المثال الآتي .

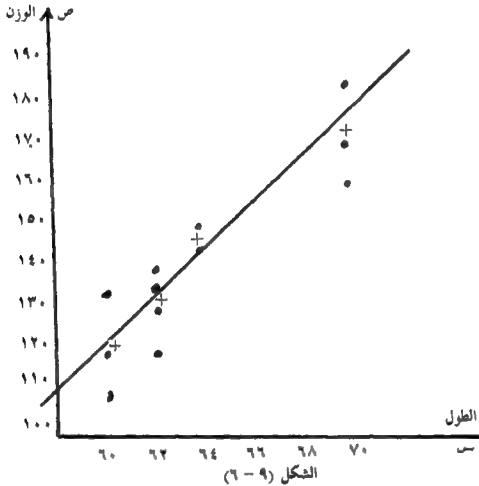
مثال (٩ - ٨) :

في دراسة عن توزيع الأوزان لمجتمع من الرجال وعلاقة هذا التوزيع بالأطوال ، قسم مجتمع الرجال من حيث الطول إلى ٤ أقسام تتساوى فيها الأطوال بالتقريب وتمثلها الأطوال ٦٠ ، ٦٢ ، ٦٤ ، ٧٠ . وفي كل من هذه الأطوال لاختير عدد من الرجال عشوائيا وقيست أوزانهم وسجلت المقاييس في الجزء العلوى من الجدول (٩ - ٦) الآتى :

الجدول (٩ - ٦)

الأطوال					الأوزان
س ^١	س ^٢	س ^٣	س ^٤	س ^٥	
٦٠	٦٢	٦٤	٧٠		
١١٠	١٢٠	١٥٠	١٧٠		
١٣٥	١٤٠	١٤٥	١٨٥		
١٢٠	١٣٠		١٦٠		
١٣٥					
س ^١	س ^٢	س ^٣	س ^٤	س ^٥	س ^٦
٣٦٥	٥٢٥	٢٩٥	٥١٥	١٢ = ن	مح مح ص = ١٧٠٠
٤٤٧٢٥	٦٩١٢٥	٤٣٥٢٥	٨٨٧٢٥	مح مح ص ^٢ = ٢٤٦١٠٠	
١٨٠	٢٤٨	١٢٨	٢١٠	مح مح ص = ٧٦٦	
١٠٨٠٠	١٥٣٧٦	٨١٩٢	١٤٧٠٠	مح مح ص ^٢ = ٤٩٠٦٨	
٢١٩٠٠	٣٢٥٥٠	١٨٨٨٠	٣٦٠٥٠	مح مح ص ص = ١٠٩٣٨٠	

نعتبر عن هذه البيانات هندسيا كما في الشكل (٩ - ٦) الذي يعرض شكل الانتشار ويشتمل على ١٢ نقطة تشترك بعضها في الإحداثيات السينية وكل نقطة تعبر عن طول ووزن أحد الرجال . أما النقط المشار إليها بالعلامة + فتمثل متوسطات المجموعات الصادية عند القيم السينية المناظرة أى تمثل النقط (س ، ص) ، حيث $١ = ٢ ، ٣ ، ٤$.



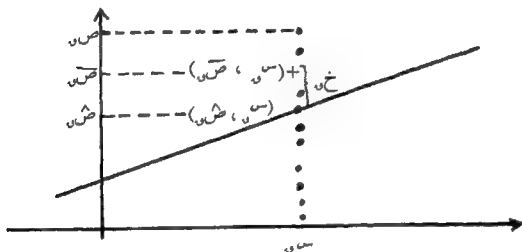
شكل الانتشار وخط الانحدار لبيانات المثال (٩ - ٨)

المطلوب في هذا المثال إيجاد معادلة انحدار ص على س واختبار دلالة هذا الانحدار .

إيجاد معادلة الانحدار :

في المثال (٩ - ٧) حيث كان لدينا قيمة واحدة ص لكل قيمة س كان بحثنا يهدف إلى معرفة ما إذا كانت القيم الصادية ص_١ ، ص_٢ ، ... تقع على خط مستقيم هو خط الانحدار،

أما في المثال (٩ - ٨) حيث لدينا مجموعة من القيم الصادية لكل قيمة s فإن بحثنا يهدف في هذه الحالة إلى معرفة ما إذا كانت المتوسطات \bar{v}_s ، \bar{v}_{s_1} ، \bar{v}_{s_2} ، ... للمجموعات الصادية تقع على خط مستقيم . وعلى ذلك فإنه حسب مبدأ المربعات الصغرى - راجع البند (٩ - ٣) - يكون خط الانحدار هو ذلك الذى تختار ثوابته بحيث تجعل الدالة $\chi^2 = \sum (v_{sj} - \bar{v}_s)^2$ نهاية صغرى ، حيث \bar{v}_s هو الإحداثى الصادى للنقطة الواقعة على خط الانحدار والتى إحداثيها السينى s - انظر الشكل (٩ - ٧) .



الشكل (٩ - ٧)

ويهمنا أن نشير إلى أننا إذا وضعنا بدلا من كل قيمة v_{sj} في أى عمود v الوسط الحسابى \bar{v}_s للصادات في هذا العمود فإن معادلة الانحدار التى تنتج تكون هى بذاتها معادلة انحدار v على s لأن هذا التغيير لا يؤثر في المجاميع أو مجاميع المربعات أو مجاميع حواصل الضرب ، وهذا ما يمكن بيانه جبريا . وهذه الحقيقة تعنى أنه إذا وقعت متوسطات الأعمدة على خط مستقيم فإن هذا الخط ينطبق على خط انحدار v على s .

لايجاد معامل الانحدار b نستخدم الصيغة (٥) التى تأخذ في هذه الحالة الشكل الآتى :

$$b = \frac{\frac{(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} - \frac{(\sum (x - \bar{x})^2)}{n}}{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n} - \frac{(\sum (y - \bar{y}))^2}{n}}$$

وفي هذا المثال نجد أن :

$$b = \frac{1700 \times 766}{12} - 109380}{\frac{766^2}{12} - 49068} = \frac{863,34}{171,667} = 0,0292$$

$$\bar{b} = \frac{1}{n} = \frac{766}{12} = 63,8333$$

$$\bar{b} = \frac{1}{n} = \frac{1700}{12} = 141,6667$$

∴ معادلة الانحدار ص على س مقربة إلى 3 خانات عشرية هي :

$$\hat{y} = 0,029 + 141,667 (x - 63,833)$$

$$\text{أي } \hat{y} = - 179,349 + 0,029 x$$

اختبار وجود علاقة خطية :

على فرض توفر شروط الانحدار يمكننا اختبار وجود علاقة خطية بين المتغيرين
 أى اختبار الفرض الصفري $\beta = 0$ ضد الفرض $\beta \neq 0$ باستخدام اختبارات
 بالصيغة (١١) أو اختبار ف بالصيغة العامة (٢١) أو بالصيغة المكافئة (٢٤) .
 وسنستخدم هنا الصيغة العامة وهي :

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} = \text{بدرجتي حرية ١ ، } n - 2$$

من بيانات المثال نجد مايلي :

$$\text{الاختلاف الكلي} = \sum (ص) - \sum (ص) = \frac{\sum (ص)}{n}$$

$$= 5266,67 = \frac{1700}{12} - 246100$$

$$\text{الاختلاف المفسر} = \frac{\sum (ص) - \sum (ص)}{\sum (ص)}$$

$$4341,8708 = \frac{(863,34)}{171,667} = \frac{[\frac{1700 \times 766}{12} - 109380]}{\frac{766}{12} - 49068} =$$

$$\therefore \text{الاختلاف غير المفسر} = 4341,8708 - 5266,67 = 924,7992$$

وبذلك نحصل على جدول التباين الآتي :

الجدول (٩-٧)

مصدر التباين	٢ ٢	د ح	ط ٢	ف ٢
الاختلاف المفسر	4341,8708	١	4341,8708	٤٦,٩٥
الاختلاف غير المفسر	924,7992	١٠	92,4799	
الاختلاف الكلي	5266,6700	١١		

بما أن ٤٦,٩٥ أكبر بكثير من القيمة الحرجة ف ١٠,٠٠ = ١٠,٠٠ ١٠,٠٠
نرفض الفرض الصفري $\beta = 0$ عند مستوى عالى من الدلالة ونحكم بوجود علاقة
خطية بين طول الرجل ووزنه .

(٩ - ٩) اختبار جودة العلاقة الخطية :

نعلم أننا إذا قبلنا الفرض الصفري $\beta = 0$ ، فإننا نحكم بعدم وجود علاقة خطية بين المتغيرين ولا نحتاج حينئذ إلى إجراء أى اختبارات أخرى تتعلق بخطية هذه العلاقة . أما إذا رفضنا هذا الفرض فإننا نحكم بوجود علاقة خطية بين المتغيرين لأن الانحدار الخطي يكون قد فسر جزءا ذا دلالة من الاختلاف الكلى . غير أن هذا لا يعنى أن العلاقة الخطية هى أحسن علاقة تصف العلاقة الحقيقية بين المتغيرين ، فقد تكون هناك علاقة أخرى مثل $\alpha + \beta_1 x + \beta_2 y + \dots$ ، تفضل العلاقة الخطية فى ذلك . ويستلزم الأمر هنا الاستمرار فى تحليل البيانات لتقدير درجة جودة العلاقة الخطية ، وذلك بتقييم الاختلاف غير المفسر الذى يعبر عن الانحراف عن الخطية ، فإذا كان هذا الاختلاف غير ذى دلالة أى يرجع إلى العوامل العشوائية فإن العلاقة الخطية تكون هى أحسن العلاقات ، أما إذا كان هذا الاختلاف ذا دلالة فإن العلاقة الخطية لا تكون هى العلاقة المثلى بين المتغيرين .

ولكن كيف نقيّم الاختلاف المعبر عن الانحراف عن الخطية ؟ إننا نحتاج هنا إلى مقياس نقيس به دلالة هذا الانحراف . ولتحقيق هذا الغرض ينبغى تصميم تجربة نحصل منها على بيانات بحيث يناظر كل قيمة من القيم السينية مجموعة من القيم الصادية كما فى المثال (٩ - ٨) السابق ، لأن وجود هذه المجموعات الصادية يتيح لنا فرصة إيجاد الاختلاف داخل هذه المجموعات وهو الذى يعبر عن خطأ التجريب ، وبالتالي يمكن اتخاذه معيارا لمدى دلالة الانحراف عن الخطية .

وعلى ذلك ، وعلى فرض أن لدينا بيانات من مثل هذه التجربة نبدأ بخطوة هامة هى تحليل التباين للمجموعات الصادية ، أى فصل الاختلاف الكلى فى القيم الصادية (كالمعتاد) إلى مركبتين مستقلتين تعبر الأولى عن الاختلاف بين المجموعات وتعبر الثانية عن الاختلاف داخل المجموعات (خطأ التجريب) ، وهذه الخطوة تتخذ الشكل المعتاد الآتى :

٢٢ (ص) = ٢٢ (بين المجموعات) + ٢٢ (داخل المجموعات)
بدرجات حرية ١ - ١ ، ١ - ١ ، ١ - ١ على الترتيب .

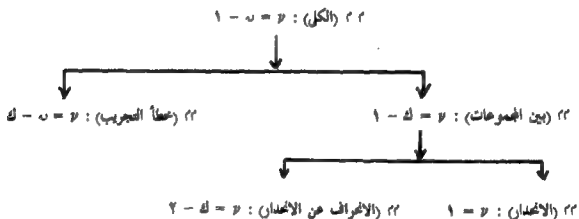
وجدير بالإشارة هنا إلى أن المتغير المستقل μ في الانحدار هو متغير كمي بينما المتغير المستقل (عامل التجريب) في تحليل التباين هو متغير نوعي . وحين نجرى تحليل التباين للانحدار نعتبر أن القيم العددية للمتغير μ هي مجرد إشارات تعبر عن مستويات عامل التجريب .

ولما كان الهدف من تحليل الانحدار اختبار ما إذا كانت متوسطات المجموعات الصادية تقع على خط مستقيم فإن الاختلاف الذى ينبغي تحليله هو الاختلاف بين المجموعات . وعلى ذلك فإن الخطوة الثانية هي تحليل الاختلاف بين المجموعات إلى مركبتين مستقلتين تعبر الأولى عن الاختلاف المفسر : ٢٢ (الانحدار الخطى) وتعبّر الثانية عن الاختلاف غير المفسر : ٢٢ (الانحراف عن الانحدار الخطى) وهذه الخطوة تتخذ الشكل الآتى :

٢٢ (بين المجموعات) = ٢٢ (الانحدار الخطى) + ٢٢ (الانحراف عن خط الانحدار)

بدرجات حرية ١ - ١ ، ١ - ١ ، ٢ - ٢ على الترتيب .

الشكل (٩ - ٨) الآتى يلخص خطوات التحليل السابق ذكرهما .



الشكل (٩ - ٨) : خطوات اختبار جودة الانحدار الخطى

كما أن الجدول (٩ - ٨) الآتي هو جدول التباين لعمليتي التحليل .

الجدول (٩ - ٨)

درجات الحرية	مجموع المربعات	مصدر التباين
ك - ١ ١ ك - ٢ ١ - ك	$\left. \begin{array}{l} \text{ع ن (صق) - (صق)} \\ \text{ع ن (صق) - (صق)} \\ \text{ع ن (صق) - (صق)} \end{array} \right\}$	بين المجموعات الانحراف الخطي الانحراف عن عطف الانحدار عطف التجريب (داخل المجموعات)
١ - ١	ع ن (صق) - (صق)	الكل

من هذا التحليل نستطيع أن نختبر ثلاثة أمور هي :

(أولا) اختبار دلالة الاختلاف المشاهد بين المجموعات :

أى اختبار ما إذا كانت متوسطات المجموعات الصادية تختلف باختلاف القيم السينية . والاختبار الذى يصلح لذلك هو اختبار ف المعتاد حيث

$$ف = \frac{\text{التباين بين المجموعات}}{\text{التباين داخل المجموعات}} \quad \text{بدرجتي حرية ك - ١ ، ن - ك (٢٥)}$$

والفرض الصفري هنا هو أن المتوسطات متساوية جميعها . فإذا قبلنا هذا الفرض نحكم بعدم وجود أى علاقة بين التغير فى ص والتغير فى ص ويتوقف البحث عند هذا الحد . أما إذا رفضنا الفرض الصفري فنحكم بأن التغير فى ص يؤثر فى التغير فى ص وينبغى حينئذ أن نستمر فى البحث بحسب الخطوة الثانية .

(ثانياً) بحث العلاقة الخطية بين المتغيرين :

(أ) اختبار وجود علاقة خطية :

أى اختبار الفرض الصفري $\beta = 0$ ضد الفرض $\beta \neq 0$ وكما فعلنا فى المثال (٩ - ٨) نستخدم الصيغة (٢١) وهى :

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}}$$

مع ملاحظة أن الاختلاف غير المفسر هو ذلك الاختلاف الذى لا يعتمد على المتغير x وهو يشمل الاختلاف الناشئ عن الانحراف عن خط الانحدار كما يشمل الاختلاف الناشئ عن خطأ التجريب ، وعلى ذلك فإن التعويض فى هذه الصيغة من بيانات الجدول (٩ - ٨) يكون كالآتى :

$$F = \frac{٢٢ (الانحدار الخطى) \div ١}{[٢٢ (الانحراف عن الخطية) + ٢٢ (خطأ التجريب)] \div (٢-١)} \quad (٢٦)$$

بدرجتى حرية ١ ، $\alpha = ٠.٠٥$.

وكما سبق القول فى (أولاً) ليس هناك ما يدعو للقيام بهذا الاختبار أو بالاختبار الذى سيرد فى (ب) إلا إذا ثبت من الخطوة السابقة دلالة الاختلاف بين المجموعات الصادية .

(ب) اختبار جودة العلاقة الخطية :

أى اختبار دلالة الانحراف عن خط الانحدار مقدراً بمجموع مربعات الانحرافات $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$ ، أو بمعنى آخر اختبار ما إذا كانت متوسطات المجموعات الصادية تقع على خط الانحدار أو قريبة منه أم تنتشر بعيدة عنه أبعاداً جوهرية . والاختبار الذى يصلح لذلك هو اختبار F بالصورة

$$F = \frac{\text{تباين الانحراف عن الخطية}}{\text{تباين خطأ التجريب}} \quad (27)$$

بدرجتى حرية كـ - ٢ ، ح - كـ .

فى هذا الاختبار يلعب التباين المقدر لخطأ التجريب دوراً رئيسياً كمعيار يقاس بالنسبة إليه الانحراف عن الخطية ، وهذا هو السبب فى ضرورة أن تصمم التجارب التى تهدف إلى قياس جودة العلاقات الخطية بحيث يكون لكل قيمة س قيمتان أو أكثر من قيم ص وإلا ما استطعنا الحصول على هذا المعيار .

ملاحظة :

إذا وجدنا من الخطوة (ا) أن الانحدار الخطى ذو دلالة ووجدنا من الخطوة (ب) أن الانحراف عن الخطية غير ذى دلالة ، نحكم بأن العلاقة الخطية هى علاقة جيدة وتصف بمقدارة العلاقة الحقيقية بين المتغيرين . أما إذا وجدنا أن كلا من الانحدار الخطى والانحراف عن الخطية ذو دلالة فنحكم بأنه بالرغم من وجود علاقة خطية بين المتغيرين إلا أنها ليست أحسن العلاقات التى تعبر عن حقيقة العلاقة بينهما وعلينا إذا أردنا أن نهت عن علاقة أفضل .

مثال (٩ - ٩) :

ابحث خطية العلاقة بين الطول والوزن مستخدماً بيانات المثال (٩ - ٨) .

الحل :

(أولاً) نبدأ بتحليل التباين للمتغير صـ للحكم على دلالة الاختلاف بين متوسطات المجموعات الصادية .

$$F = 5266,67 \quad (الكلى) \quad \text{سبق إيجاده بالمثال (٩-٨)}$$

$$٢٢ = \text{(بين المجموعات)} = \frac{١٧٠٠}{١٢} - \frac{٢٥١٥}{٣} + \frac{٢٩٥}{٢} + \frac{٢٥٢٥}{٤} + \frac{٣٦٥}{٣}$$

$$٣ = \nu \quad ٤٤٠٢,٠٨ =$$

$$\therefore ٢٢ = \text{(خطأ التجريب)} = ٨٦٤,٥٩ = ٤٤٠٢,٠٨ - ٥٢٦٦,٦٧ = ٨ = \nu$$

$$\text{من (٢٥) : ف} \quad ١٣,٥٧٧ = \frac{٣ \div ٤٤٠٢,٠٨}{٨ \div ٨٦٤,٥٩}$$

وبما أن $F_{[٨,٣], ٠,٠١} = ٧,٥٩$ نرفض الفرض الصفري عن تساوى المتوسطات عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ونحكم بأن أوزان الرجال ليست مستقلة عن أطوالهم . ومادام الأمر كذلك نستمر في التحليل .

(ثانياً) نقوم بتحليل الانحدار للاختلاف بين المجموعات كما يلي :

$$٢٢ = \text{(الانحدار الخطى)} = ٤٣٤١,٨٧٠٨ \text{ سبق إيجادها بالمثال (٩-٨) } ١ = \nu$$

$$\therefore ٢٢ = \text{(الانحراف عن الخطية)} = ٢٢ = \text{(بين المجموعات)} - ٢٢ = \text{(الانحدار الخطى)}$$

$$٤٣٤١,٨٧٠٨ - ٤٤٠٢,٠٨ =$$

$$٢ = \nu \quad ٦٠,٢٠٩٢ =$$

بضم هذه النتائج إلى نتائج الخطوة السابقة يتج جدول التباين الآتى :

الجدول (٩ - ٩)

مصدر التباين	د. ح	ط. ح
بين المجموعات	٣	١٤٦٧,٣٦
الانحدار الخطي	١	٤٣٤١,٨٧٠٨
الانحراف عن الخطية	٢	٣٠,١٠٤٦
خطأ التجريب	٨	١٠٨,٠٧٣٨
الكل	١١	٥٢٦٦,٦٧

(أ) اختبار وجود علاقة خطية

$$F_{(26)} : \text{في} = \frac{1 + 4341,8708}{10 \div (864,09 + 60,2092)} = 46,90^{**}$$

بما أن $F_{(26)} = 10,00$ نرفض الفرض الصفري أن $\beta = 0$ ونحكم بوجود علاقة خطية بين أطوال الرجال وأوزانهم .

(ب) اختبار دلالة الانحراف عن خط الانحدار

$$F_{(27)} : \text{في} = \frac{30,1046}{108,0738} > 1$$

وإذن نقبل الفرض الصفري بعدم وجود انحراف ذي دلالة عن خط الانحدار .

الخلاصة :

من هذه التجربة نستخلص أن العلاقة الخطية التى تمثلها معادلة الانحدار
 $\hat{y} = - 179,35 + 0,029x$ تعبر بجدارة عن العلاقة الحقيقية بين أطوال وأوزان
 الرجال . ومع ملاحظة أن معامل التحديد

$$r^2 = \frac{[\sum (y - \hat{y})(y - \bar{y})]^2}{\sum (y - \bar{y})^2 \sum (\hat{y} - \bar{y})^2}$$

$$0,8244 = \frac{(163,34)^2}{5266,67 \times 171,667}$$

نرى أن العلاقة الخطية تفسر حوالى ٨٢,٤٪ من الاختلاف الكلى فى قيم المتغير
 ص ، وهذا يدعم القول بخطية العلاقة بين المتغيرين .

(٩ - ١٠) ملاحظات عن افتراضات الانحدار :

إن صحة الاستنتاجات الإحصائية تتوقف على مدى انطباق الافتراضات التى
 وضعت فى تعريف النموذج الذى بنيت عليه الدراسة على الموقف التجريبى الذى
 تتناوله هذه الدراسة . ولذلك ينبغى أن نتفهم جيدا ما تعنيه هذه الافتراضات وما
 تتطلبه من شروط إجرائية تحسبا من العواقب التى قد تنجم عن وجود تناقضات
 ذات بال بين الافتراضات الموضوعية والظروف الفعلية لعملية التجريب . كما ينبغى
 أن نكون على استعداد لتغيير افتراض أو تعديله إذا اتضح لنا عدم إمكانية تحقيقه عمليا
 ولو بشيء من التقريب ، على أن نراعى ما يستلزمه هذا التغيير أو التعديل بالنسبة
 لما نقدمه من استنتاجات .

لنعتبر الافتراضات الثلاثة التى استخدمناها فى الانحدار الخطى البسيط ولنبدأ
 بالافتراض الأول . إن هذا الافتراض يتضمن أن يكون المتغير ص متغيرا غير عشوائى

وهذا يعنى أن الباحث يتحكم تجريبيا في هذا المتغير ويستطيع تسجيل القيم التى يدخلها في بياناته بدقة تامة . غير أنه في كثير من المواقف التجريبية لا يتحقق هذا الافتراض فقد يكون الباحث مهتما بالحصول على بيانات عن المتغير - دون أن يكون متحكما فيه أى بصرف النظر عن كون هذا المتغير عشوائيا أو غير عشوائى مادامت هذه البيانات تعبر في نظر الباحث عن قيم نموذجية لهذا المتغير . وفي بعض الدراسات يضطر الباحث إلى اختيار مشاهدات تقع في مدى معين محدد من قبل أو يأخذ منها قيما معينة محددة مسبقا . في مثل هذه الحال ينبغي للباحث أن يستبدل بهذا الافتراض افتراضا آخر يتلاءم مع الموقف الذى يتناوله ، كأن يضع الافتراض «المتغير - قيمه مشروطة» وهذا الافتراض الجديد لا يؤثر في سلامة استخدام طريقة المربعات الصغرى إلا أن الاستنتاجات الإحصائية التى نخرج بها عن المجتمع الذى ندرسه ينبغي أن تكون مشروطة بالنسبة للمتغير - أى لا يجوز تعميمها لقيم غير ممثلة في البيانات التى استخدمت في الدراسة أو ليس لها نفس خصائصها .

أما الافتراض الثانى فيعنى أن الصيغة الحقيقية للعلاقة بين المتغيرين هي الصيغة الخطية ، وعلى هذا لا تكون استنتاجاتنا صحيحة إلا إذا كان لدينا ما يضمن سلامة هذه الصيغة ، ويساعدنا في ذلك الأسلوب المذكور في نتيجة البند (٩ - ٥) لاختبار خطية هذه العلاقة كما يساعدنا الأسلوب المبين بالبند (٩ - ٩) لاختبار دلالة الانحراف عن خط الانحدار . فإذا تبين لنا عدم انطباق هذه الصيغة في موقف ما ينبغي أن نبحث عن صيغة أخرى تناسبه .

وبالنسبة للافتراض الثالث فهو يعنى أنه عند أى قيمة ثابتة من المتغير - تتصف القيم التى يأخذها المتغير - بما يلى :

(١) قيم - مستقلة ، أى أن صغر أو كبر الخطأ العشوائى في أحدها لا يؤثر في مقدار الخطأ في القيم الأخرى . وهذه الصفة يمكن تحقيقها عمليا بإحكام عملية التجريب وخاصة فيما يتعلق بعشوائية العينة .

(٢) قيم σ لها تباين ثابت σ^2 ، وهذه الصفة تتحقق تلقائيا إذا كانت هذه القيم هي مشاهدات مستقلة من نفس المجتمع .

(٣) قيم σ تتوزع توزيعا معتدلا .

وجدير بالإشارة هنا إلى أنه بصفة عامة تكون النماذج المستخدمة بما يصاحبها من فروض هي نماذج نظرية قلما تتحقق في الواقع العمل إلا على وجه التقريب . ونحن إذ نستخدم هذه النماذج نعلق بالأمل في ألا تؤدي بنا هذه الحقيقة إلى وجود فروق كبيرة بين التقديرات التي نحصل عليها منها وبين القيم الحقيقية للبارامترات التي نبحث عنها ، كما نعلق بالأمل بأن تكون الإجراءات التي اتخذناها في عملية التقدير هي إجراءات مناسبة حتى إذا كان الموقف الذي نتناوله لا يحقق الفروض تحقيقا تاما .

(٩ - ١١) استخدامات الانحدار :

لعله من المناسب الآن أن نبرز الأغراض التي يستخدم الانحدار الخطي البسيط من أجلها . ومن الدراسة التي مرت بنا في هذا الفصل يمكننا تلخيص هذه الأغراض فيما يلي :

(١) التنبؤ بقيم متغير عشوائي σ بمعلومية متغير رياضي σ مع تقدير درجة دقة هذا التنبؤ . هذا مع ملاحظة أن خط الانحدار هو خط مستقيم يمتد بغير نهاية من الطرفين . ولكننا في عملية التنبؤ لا يجوز التنبؤ بقيم صادية مناظرة لقيم سينية تخرج كثيرا عن مدى القيم التي استخدمت في إنشاء هذا الخط إلا إذا كان لدينا ما يبرر ذلك . فمثلا إذا أوجدنا خط انحدار لأطوال الذكور بين العمر ١٠ والعمر ١٥ فمن الخطأ استخدام هذا الخط للتنبؤ بأطوال الرجال في أعمار فوق العشرين لأن الطول يتوقف عند بلوغ سن النضج .

(٢) دراسة طبيعة العلاقة بين متغيرين σ ، σ وشكل المنحنى أو الدالة التي تعبر عن هذه العلاقة .

(٣) تفسير بعض الاختلاف في قيم المتغير من بدلالة الاختلاف في قيمه على أساس اتخاذ المتغير من كضابط إحصائي statistical control .

(٤) دراسة ما إذا كان التغير في من يسبب ولو جزئيا التغير في من ، مع ملاحظة أن دراسة السببية تحتاج إلى أكثر من إثبات وجود علاقة ذات دلالة بين المتغيرين ، إذ أن هذه العلاقة قد تكون ناشئة عن وجود متغيرات أو عوامل أخرى تؤثر في المتغيرين من ، من معا . فمثلا في الأحياء المزدحمة من بعض المدن الكبيرة نجد علاقة ذات دلالة بين ازدهام السكان والتدرب الرئوى (السل) فهل هذا يعنى أن الازدهام سبب في الإصابة بالتدرب الرئوى ؟ لا نستطيع الإجابة بالإيجاب أو النفي عن هذا السؤال إذا لاحظنا أنه في الأحياء المزدحمة بصفة عامة يكون مستوى الحياة منخفضا وبالتالي يكون هناك سوء تغذية للسكان ، وقد يكون سوء التغذية هو السبب الحقيقي لهذا المرض . إن تقرير السببية أمر متروك للباحث يفتى فيه بما لديه من خبرة ومعلومات عن المتغيرات التي يتناولها مستعينا بما يستخلصه من التحليل الإحصائي .

(٥) يستخدم الانحدار أيضا في أنواع أخرى من التحليل الإحصائي منها تحليل التباين حيث يكون الهدف معرفة مدى تأثير عامل نوعى على متغير عددي من بعد استبعاد أثر متغير عددي من مرتبط بالمتغير من ، وهذا ما سنتناوله في فصل لاحق .

تمارين (٩ - ٢)

(اعتبر أن افتراضات الانحدار متوفرة) .

(١) في تجربة عن تأثير طاقة التمثيل الغذائى بدرجة الحرارة على نوع من الطيور في فترة ضوئية ثابتة مدتها ١٠ ساعات ، اختبرت أربع درجات حرارة هي ٥ ، ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ وعرضت خمسة طيور لكل من هذه الدرجات ثم حسبت مقادير طاقة التمثيل الغذائى لكل من هذه الطيور وسجلت بالجدول الآتى . أوجد معادلة

الانحدار الخطي لطاقة التمثيل الغذائي على درجة الحرارة واختبر جودة العلاقة الخطية بين هذين المتغيرين .

درجات الحرارة (س)				
٢٠	١٥	١٠	٥	
١٥,٨	١٨,٣	٢٤,٢	٢٣,٢	
١٥,٢	١٨,٨	٢٤,٢	٢٣,٥	
١٥,٦	١٨,٦	٢٤,١	٢٣,٤	طاقة التمثيل الغذائي (ص)
١٥,٣	١٨,٧	٢٤,٣	٢٣,١	
١٥,١	١٨,١	٢٤,٢	٢٣,٦	

لكل من العينات الثلاث الآتية أوجد معادلة الانحدار الخطي واختبر جودة العلاقة الخطية :

س					
٦	٤	٢	١	٠	
١١	٨	١	٠	١-	
١٣	١٢	٥	٢	١	ص

(٣)

س				
٤	٣	٢	١	
١٠	٩	٥	٠	
١٤	١٣	٧	٢	ص

(٤)

٥ ٢٠ ١٥ ١٠ ٥ ٢

٣ ٣٤٥ ٢٩٨ ٢٤٢ ١٧١ ٦٠

٨ ٣٥١ ٣٠٤ ٢٤٥ ١٧٦ ٦٤

٥

الفصل العاشر

الارتباط الخطي البسيط

SIMPLE LINEAR CORRELATION

(١٠ - ١) الانحدار الخطي والارتباط الخطي :

في دراسة الانحدار الخطي لمتغير حقيقي y على متغير آخر x فرضنا أن العلاقة بينهما على الصورة $y = \alpha + \beta x$ واستخرجنا من العينة أحسن تقديرين a ، b للبارامترين المجهولين α ، β في ضوء مبدأ المربعات الصغرى ، ومن ثم أوجدنا معادلة $y = a + bx$ تمكننا من التنبؤ بأحسن قيمة للمتغير y عند قيمة معطاة للمتغير x ، واستخدمنا تحليل التباين لتفسير الانحدار ، كما خرجنا ببعض الاستنتاجات الإحصائية في صورة اختبارات دلالة وفترات ثقة . وهذا كله يدخل تحت الموضوع المسمى بتحليل الانحدار . ويقترب بهذا الموضوع موضوع آخر يسمى تحليل الارتباط وهو يهتم بالبحث عن عدد نقيس به درجة الاعتماد المتبادل بين المتغيرين ودقة العلاقة المفروضة بينهما ، فإذا فرضنا أن العلاقة بين المتغيرين خطية يكون اهتمامنا منصّباً على إيجاد عدد أو مقياس يعبر عن درجة جودة العلاقة الخطية في وصف العلاقة الحقيقية بين المتغيرين واختبار دلالة هذا المقياس .

(١٠ - ٢) افتراضات الارتباط الخطي البسيط :

تقتضي دراسة الارتباط بين متغيرين حقيقيين x ، y وضع افتراضات يختلف بعضها عن تلك التي وضعت لدراسة الانحدار . وسنضع هنا الافتراضات الآتية :

الافتراض الأول :

« كل من المتغيرين x ، y هو متغير عشوائي » .

فمثلا قد يعبر المتغيران عن طول ذراع الإنسان وطول رجله ، أو عن عمر الزوج وعمر الزوجة عند الزواج ، أو عن وزن الدجاجة وعدد البيض الذى تنتجه أو عن درجة الرياضيات ودرجة الفيزياء لمجموعة من الطلاب ..

الافتراض الثانى :

« إن العلاقة بين المتغيرين x ، y هي علاقة خطية » بمعنى أن متوسط قيم y المناظرة لقيمة معينة x يأخذ الصورة

$$\mu_y = \alpha + \beta x \quad (1)$$

حيث α ، β بارامتران مجهولان .

الافتراض الثالث :

(أ) للمتغير x توزيع معتدل

(ب) عند أى قيمة ثابتة x يكون للمتغير y توزيع معتدل متوسطه $\alpha + \beta x$ وتباينه عدد ثابت مجهول σ^2 لا يتوقف على x .

وقد يكون من المفيد أن نشير إلى أن هذه الافتراضات تكافئ رياضيا القول بأن التوزيع المشترك للمتغيرين x ، y هو ذلك المسمى بالتوزيع المعتدل ذى المتغيرين

bivariate normal distribution

(١٠ - ٣) معامل الارتباط العزيمى (بيرسون) :

PRODUCT MOMENT CORRELATION COEFFICIENT (PEARSON 1900)

تعريف :

إذا كان x ، y متغيرين عشوائيين ورمزنا بالرمز σ_x للانحراف المعياري

للمتغير σ وبالرمز σ للانحراف المعياري للمتغير σ وبالرمز σ لتغاير
(σ ، σ) فإن العدد σ المعروف بالصيغة :

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \sigma$$

يسمى بمعامل الارتباط العزمي بين σ ، σ .

يمكن رياضيا إثبات ما يلي :

(١) لا تزيد القيمة المطلقة للعدد σ عن الواحد الصحيح ، أى أن

$$-1 \leq \sigma \leq 1$$

(٢) إذا كان المتغيران σ ، σ مستقلين فإن $\sigma =$ صفر غير أن العكس ليس من الضروري أن يكون صحيحا ، أى أنه إذا كان $\sigma = 0$. فليس من الضروري أن يكون المتغيران مستقلين بل قد يكون بينهما علاقة غير خطية . أما إذا كان التوزيع المشترك للمتغيرين σ ، σ هو التوزيع المعتدل ذو المتغيرين فإن انعدام معامل الارتباط يستلزم استقلال المتغيرين .

(٣) تكون هناك علاقة دالية خطية بين المتغيرين σ ، σ :

$$\sigma = a + b \sigma \quad \text{و} \quad \sigma = a' + b' \sigma$$

إذا وإذا فقط كان معامل الارتباط σ يساوى ١ أو - ١ .
وهذه الخاصة تعنى أنه إذا كان هناك علاقة خطية بين σ ، σ فإن ذلك ينعكس على قيمة σ فيجعلها مساوية للعدد ١ (ونقول حينئذ أن هناك ارتباط تام موجب بين المتغيرين) أو مساوية للعدد - ١ (ونقول حينئذ أن هناك ارتباط تام سالب) ، والعكس صحيح .

من هذا نرى أن معامل الارتباط العزمي ليس مقياسا للاعتماد المتبادل بين

المتغيرين بشكل عام وإنما هو مقياس لدرجة الاعتماد الخطي بينهما ، وينبغي أن نتذكر ذلك دائما .

ولتقدير قيمة r من عينة عشوائية :

$\{(s_1, v_1), (s_2, v_2), \dots, (s_n, v_n)\}$ نستخدم المقياس الآتي الذي يتركب بكل بساطة من التقديرات غير المتحيزة للقيم التي يتركب منها r :

$$(2) \quad \frac{\bar{E}_{ss}}{\bar{E}_{ss} \cdot \bar{E}_{vv}} = r$$

حيث $\bar{E}_{ss} = \frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})^2$ ، $\bar{E}_{vv} = \frac{1}{n} \sum (v_i - \bar{v})^2$ ، $\bar{E}_{sv} = \frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})(v_i - \bar{v})$ ، $\bar{s} = \frac{1}{n} \sum s_i$ ، $\bar{v} = \frac{1}{n} \sum v_i$ ، \bar{E}_{ss} ، \bar{E}_{vv} ، \bar{E}_{sv} ، \bar{s} ، \bar{v} تغاير (s ، v)

$$(3) \quad \frac{\bar{E}_{sv}}{\sqrt{\bar{E}_{ss} \cdot \bar{E}_{vv}}} = r$$

، $\bar{E}_{ss}^2 = \frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})^2$ ، $\bar{E}_{vv}^2 = \frac{1}{n} \sum (v_i - \bar{v})^2$ ، $\bar{E}_{sv}^2 = \frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})(v_i - \bar{v})$ ، $\bar{s}^2 = \frac{1}{n} \sum s_i^2$ ، $\bar{v}^2 = \frac{1}{n} \sum v_i^2$ ، \bar{E}_{ss} ، \bar{E}_{vv} ، \bar{E}_{sv} ، \bar{s} ، \bar{v} تباین (s)

$$(4) \quad \frac{\bar{E}_{sv}}{\sqrt{\bar{E}_{ss} \cdot \bar{E}_{vv}}} = r$$

، $\bar{E}_{ss}^2 = \frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})^2$ ، $\bar{E}_{vv}^2 = \frac{1}{n} \sum (v_i - \bar{v})^2$ ، $\bar{E}_{sv}^2 = \frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})(v_i - \bar{v})$ ، $\bar{s}^2 = \frac{1}{n} \sum s_i^2$ ، $\bar{v}^2 = \frac{1}{n} \sum v_i^2$ ، \bar{E}_{ss} ، \bar{E}_{vv} ، \bar{E}_{sv} ، \bar{s} ، \bar{v} تباین (v)

ملاحظة (١)

من السهل إثبات أن (٢) يمكن أن تكتب على الصورة

$$(5) \quad r = \frac{\bar{E}_{sv}}{\sqrt{\bar{E}_{ss} \cdot \bar{E}_{vv}}} = \frac{\frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})(v_i - \bar{v})}{\sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum (s_i - \bar{s})^2 \right] \left[\frac{1}{n} \sum (v_i - \bar{v})^2 \right]}}$$

وهذه الصيغة أفضل من الصيغة (٢) من الناحية الحسابية .

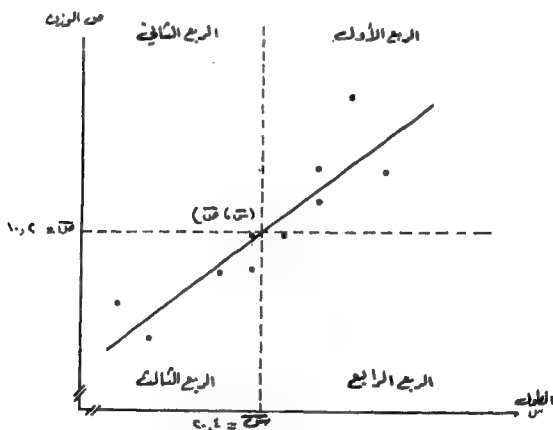
وقبل أن نوضح خصائص معامل الارتباط r والحكمة في أخذه كقياس للارتباط الخطي نتناول المثال الآتي :

مثال (١٠ - ١) :

أخذت عينة عشوائية من نوع معين من نبات البسلة وقيست أطوالها بالمليمتر (س) وأوزانها بالمليجرام (ص) فوجد ما يلي :

س :	١٧	٢٢	٢٠	٢٣	٢٤	٢٢	٢٠	٢١	١٦
ص :	٧	١٢	٩	١٤	١٢	١١	١٠	٩	٨

ارسم شكل الانتشار لاستيضاح خطية العلاقة بين المتغيرين ثم أوجد معامل الارتباط العزمي .



الشكل (١٠ - ١) شكل الانتشار لأطوال وأوزان عينة من ١٠ نباتات بسلة

يوحى شكل الانتشار بأن النقاط تميل إلى أن تقع على خط مستقيم موجب الميل ، وهذا يشير مبدئيا إلى خطية العلاقة بين المتغيرين .

الجدول (١٠ - ١)

إيجاد معامل الارتباط العزمي من بيانات المثال (١٠ - ١)

س	ص	س ص	س ^٢	ص ^٢
١٧	٧	١١٩	٢٨٩	٤٩
٢٢	١٢	٢٦٤	٤٨٤	١٤٤
٢٠	٩	١٨٠	٤٠٠	٨١
٢٣	١٤	٣٢٢	٥٢٩	١٩٦
٢٤	١٢	٢٨٨	٥٧٦	١٤٤
٢٢	١١	٢٤٢	٤٨٤	١٢١
٢٠	١٠	٢٠٠	٤٠٠	١٠٠
١٩	٩	١٧١	٣٦١	٨١
٢١	١٠	٢١٠	٤٤١	١٠٠
١٦	٨	١٢٨	٢٥٦	٦٤
٢٠٤	١٠٢	٢١٢٤	٤٢٢٠	١٠٨٠

معامل الارتباط العزمي هو (بالتعويض في ٥)

$$= \frac{(204 \times 102) - (2124 \times 10)}{[7(102) - 1080 \times 10][7(204) - 4220 \times 10]} =$$

$$= \frac{432}{480,899} = \frac{432}{396 \times 0.84 \sqrt{}} =$$

$$= 0.898 \text{ تقريبا .}$$

(١٠ - ٤) مميزات معامل الارتباط العزمي .

(١) تركيب معامل الارتباط :

إن قدرة معامل الارتباط المعرف في (٢) على تقدير درجة العلاقة الخطية بين المتغيرين s ، \bar{s} تبين من الدراسة الرياضية للنموذج الذي وضعت له الافتراضات المذكورة آنفاً . غير أننا نستطيع أن نرى ذلك بطريقة بسيطة كالآتي .

إذا تأملنا نقط مستقيم موجب الميل ، لاحظنا أنه كلما كان الإحداثي السيني لنقطة كبيراً كلما كان إحداثيها الصادي كبيراً أيضاً . أما إذا كان المستقيم سالب الميل فإنه كلما زاد الإحداثي السيني كلما نقص الإحداثي الصادي . وعلى ذلك فإن قياس خطية العلاقة بين المتغيرين تتطلب مقياساً حساساً لدرجة اقتران القيم الكبيرة للمتغير s بالقيم الكبيرة للمتغير \bar{s} إذا كانت العلاقة موجبة ، ولدرجة اقتران القيم الكبيرة للمتغير s بالقيم الصغيرة للمتغير \bar{s} إذا كانت العلاقة سالبة وهذه الحساسية نجدها في التغيرات s في المثال (١٠ - ١) السابق ، إذا رسمنا الخط الرأسي $s = \bar{s} = ٢٠,٤$ والخط الأفقي $s = \bar{s} = ١٠,٢$ في شكل الانتشار لاحظنا أنه في أغلب الحالات بل في جميع الحالات ما عدا حالة واحدة هي حالة النقطة (٢١ ، ١٠) الواقعة في الربع الرابع ما يلي :

حين تكون s كبيرة (أكبر من الوسط الحسابي \bar{s}) فإن \bar{s} المناظرة تكون كبيرة أيضاً (أكبر من الوسط الحسابي \bar{s}) وحين تكون s صغيرة (أصغر من \bar{s}) فإن \bar{s} المناظرة تكون صغيرة أيضاً (أصغر من \bar{s}) . أي أن :

حين ($s - \bar{s}$) موجبة تكون ($s - \bar{s}$) موجبة وحين ($s - \bar{s}$) سالبة تكون ($s - \bar{s}$) سالبة وفي كلتا الحالتين تكون ($s - \bar{s}$) ($s - \bar{s}$) موجبة ويكون المجموع $\Sigma (s - \bar{s})(s - \bar{s})$ موجبا .

وبالتالى يكون التغير \bar{E}_m موجبا (إلا إذا كانت قيمة (س - ص) (ص - ص) للنقطة (٢١ ، ١٠) كبيرة جداً وهذا لم يحدث) .

وبلاحظ أن قيمة \bar{E}_m في هذا المثال كبيرة لأنها متوسط مجموع ٩ أعداد موجبة وعدد واحد سالب . ولو كانت النقطة التي في الربع الرابع قد وقعت في الربع الأول أو الثالث لزادت قيمة \bar{E}_m وبالعكس لو كانت إحدى النقط الواقعة في الربعين الأول أو الثالث قد وقعت في الربع الثاني أو الرابع لنقصت قيمة \bar{E}_m

وعلى ذلك فإن التغير يعكس أمرين هما : درجة جودة العلاقة الخطية واتجاه هذه العلاقة . ولهذا يتركز معامل الارتباط r المعروف في (٧) على التغير \bar{E}_m . هذا مع ملاحظة أن هذا المعامل يكون موجباً أو سالباً بحسب كون العلاقة الخطية موجبة أو سالبة .

غير أن قيمة التغير تعتمد على حجم العينة n كما هو واضح من التعريف (٣) ، كما أنها تعتمد على وحدات القياس . ولكي يكون مقياس الارتباط عاماً ينبغي أن يكون مستقلاً عن حجم العينة وعن وحدات القياس . ولذلك ينبغي تعديل التغير ليحقق هذين الشرطين قبل أخذه كمقياس للارتباط ، وهذا ما يحققه قسمة التغير \bar{E}_m على حاصل ضرب الانحراف المعياري \bar{E}_s للمتغير s والانحراف المعياري \bar{E}_v للمتغير v . وهذا الإجراء يكافئ إيجاد تباين s ، v بعد وضع القيم في الصورة

$$\frac{s - \bar{s}}{\bar{E}_s} , \frac{v - \bar{v}}{\bar{E}_v}$$

بهذا الإجراء يكون المقياس .

$r = \frac{\bar{E}_{sv}}{\bar{E}_s \cdot \bar{E}_v}$ هو مقياس مطلق (لا يعتمد على وحدات القياس) ولا يعتمد على حجم العينة .

(ب) من مزايا معامل الارتباط أنه متماثل في r ، ص بمعنى أن قيمته لا تتغير بوضع r ، ص كل مكان الآخر .

(ج) قيمة معامل الارتباط r مستقلة عن اختيار نقطة الأصل لأن كلا من التغاير والانحراف المعياري يتمتع بهذه الصفة ، وهذا يعني أن قيمة r لا تتغير بإضافة أو طرح عدد ثابت من جميع قيم r أو بإضافة أو طرح عدد ثابت من جميع قيم r . ونستفيد من هذه الخاصية أحياناً في تبسيط حساب قيمة r .

(د) يمكن إثبات أن القيمة المطلقة للمقياس r لا تزيد عن الواحد الصحيح . أى أن .

$$-1 \leq r \leq 1 \quad (٦)$$

ولما كانت r مقياساً لدرجة الارتباط الخطي بين متغيرين فإننا نقول إن المتغيرين غير مرتبطين خطياً إذا كانت $r = 0$. (وهذا لا يمنع من وجود ارتباط من نوع آخر) . وكلما اقتربت r من الواحد كلما أوحى ذلك بوجود علاقة خطية (موجبة أو سالبة) بين المتغيرين .

ملاحظة (٢)

هناك علاقة مفيدة بين الخطأ المعياري σ_r المعروف بالمعادلة (٨) بالبند (٩ - ٤) في موضوع الانحدار الخطي البسيط ومعامل الارتباط r وهى :

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{2 - n} \quad (٧)$$

ففي المثال (١٠ - ١) نستطيع إيجاد الخطأ المعياري كالآتي :

$$\sigma_r = \frac{1}{2 - n} [(مح ص) - \frac{(مح ص)^2}{n}] = \frac{1}{10} = 0.1$$

$$\text{إذن } E_{\text{م.س.}} = \frac{9}{8} \times 4,4 = (0,898 - 1) = 0,9083$$

$$\text{إذن } E_{\text{م.س.}} = 0,9789 \text{ تقريباً .}$$

(١٠ - ٥) دلالة معامل الارتباط العزمي :

ليكن r هو معامل الارتباط الخطي بين المتغيرين s ، v في المجتمع ، r هي معامل الارتباط الناتج من العينة . تحت الافتراضات الثلاثة المذكورة نستطيع اختبار أى فرض عن القيمة الحقيقية للمعامل r ووضع حدود ثقة لهذا المعامل .
(أولاً) اختبار الفرض $r = \text{صفر}$.

لاختبار الفرض الصفري $r = \text{صفر}$: صفر (المتغيران غير مرتبطين خطياً)
ضد الفرض الآخر $r \neq \text{صفر}$: $r \neq \text{صفر}$
نستخدم الإحصاءة

$$T = \frac{\sqrt{n-2} \cdot r}{\sqrt{1-r^2}} \quad (٨)$$

التي لها توزيع t بدرجات حرية $n - 2$ بشرط صحة الفرض الصفري .

مثال (١٠ - ٢) :

في المثال (١٠ - ١) اختبر ما إذا كان المتغيران s ، v غير مرتبطين خطياً
مستخدماً مستوى الدلالة ٠,٠١ .

الحل :

$$\text{لدينا } n = 10 , r = 0,898$$

ف. : ص = ٠ ، ف. : ص ≠ ٠ (اختبار ذو جانبيين)

$$\text{من (٨) : ت. = } \frac{\sqrt{2-10} \sqrt{0,898}}{\sqrt{0,898-1}} = ٥,٧٧٣$$

من الجدول ت. [٨] ٠,٠١ = ٣,٣٥٥

بما أن $٣,٣٥٥ < ٥,٧٧٣$ نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ونحكم بوجود ارتباط خطي بين المتغيرين .

ملاحظة (٣)

الإحصاء (٨) التي تختبر الفرض ص = ٠ ضد الفرض ص ≠ ٠ تكافئ الإحصاء (١٠) بالبند (٩ - ٥) في موضوع الانحدار الخطي البسيط عند استخدامها لاختبار الفرض $\beta = ٠$ ضد الفرض $\beta \neq ٠$ وذلك لأن كلاهما يقيس وجود أو عدم وجود علاقة خطية بين المتغيرين ص ، ص . وقد يبدو ذلك غريباً لأن الإحصاء (٨) تتطلب أن يكون كلا المتغيرين معتدلاً بينما الإحصاء (١٠) تتطلب أن يكون المتغير ص فقط معتدلاً . وتزول هذه الغرابة إذا علمنا أن فيشر قد أثبت أنه في الحالة الخاصة التي يكون فيها ص = ٠ فإن توزيع المعاينة لمعامل الارتباط ص لا يتغير سواء كان المتغير ص معتدلاً أو غير معتدل طالما كان المتغير ص معتدلاً .

ولذلك فإن الإحصاء (٨) تصلح فقط لاختبار الفرض الصفري ص = ٠ ولا تصلح لاختبار أى فرض صفري آخر مثل ص = ٥,٥ أو لايجاد فترات الثقة لمعامل الارتباط ص في المجتمع ، وذلك لأنه حين يكون المتغيران مرتبطين ، أى حين ص ≠ ٠ يكون توزيع ص ملتوياً وبعيداً عن الاعتدالية . فكيف نختبر الفرض ص = ٠ حيث ك ≠ ٠ ؟

(ثانيا) اختبار الفرض $H_0 = K$ حيث $K \neq 0$.

وجد فيشر أنه عندما $H_0 \neq 0$ فإن التحويل

$$(9) \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad , \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

يعرف متغيرا عشوائيا \bar{X} له توزيع معتدل على وجه التقريب متوسطه $\bar{\mu}$ وتباينه

$$(10) \quad \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

وأن هذا التوزيع يقترب بسرعة من التوزيع المعتدل بزيادة حجم العينة . وبذلك يكون للمتغير

$$(11) \quad \frac{\bar{X} - \bar{\mu}}{\sigma} = Z$$

توزيع معتدل قياسي على وجه التقريب، وبالتالي يجوز تناوله باستخدام جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل القياسي . كما أن الفترة

$$(12) \quad (\bar{\mu} - Z_{\alpha/2} \sigma, \bar{\mu} + Z_{\alpha/2} \sigma)$$

تكون فترة ثقة بدرجة $(1 - \alpha)$ للبارامتر $\bar{\mu}$ ، حيث $Z_{\alpha/2}$ هي قيمة المتغير المعتدل القياسي Z التي تحقق المعادلة

$$P(Z < Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$$

ومن الفترة (١٢) نستطيع إيجاد فترة الثقة لمعامل الارتباط ρ للمجتمع من التحويل (٩) .

ونتجنب مشقة حساب التحويل (٩) وُضع جدول يحول r إلى r_c (بصرف النظر عن الإشارة) هو الجدول (١١) بملحق هذا الكتاب كما وضع جدول يحول r_c إلى r هو الجدول (١٢) .

مثال (١٠ - ٣) :

في عينة عشوائية من ٢٨ زوجا من مجتمع معتدل ذى متغيرين وجد أن معامل الارتباط ٠,٧ هل هذه القيمة تتماشى مع الفرض القائل أن معامل الارتباط في المجتمع هو ٠,٥ ؟ أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لهذا المعامل .
الحل :

الفرض الصفري : $\rho = ٠,٥$ الفرض الآخر $\rho \neq ٠,٥$
نحول كلا من معامل الارتباط في العينة ومعامل الارتباط المفروض للمجتمع إلى القيمتين المناظرتين لهما باستخدام الجدول (١١) .

$$r = ٠,٧ \text{ تنتج } r_c = ٠,٨٦٧$$

$$\rho = ٠,٥ \text{ تنتج } r_c = ٠,٥٤٩$$

$$\text{الخطأ المعياري} = \frac{1}{\sqrt{3 - n}} = \frac{1}{\sqrt{3 - 28}} = ٠,٢$$

على أساس صحة الفرض الصفري نجد أن :

$$\therefore \text{ص} = \frac{٠,٨٦٧ - ٠,٥٤٩}{٠,٢} = ١,٥٩$$

وبما أن ١,٥٩ أقل من القيمة الحرجة ١,٩٦ لا يكون لدينا دليل يدعونا لرفض الفرض الصفري ، ونحكم بأن معامل الارتباط في المجتمع يمكن أن يكون ٠,٥ من الصيغة (١٢) ، نوجد فترة الثقة بدرجة ٩٥٪ للبارامتر ρ كالآتي :

الحد الأدنى للفترة $= 0,867 - 0,2 \times 1,96 = 0,475 = 0,48$ تقريباً

الحد الأعلى للفترة $= 0,867 + 0,2 \times 1,96 = 1,259 = 1,26$ تقريباً

∴ فترة الثقة للبارامتر ρ هي $(0,48, 1,26)$.

من الجدول (١٢) نجد أن $(0,446, 0,851)$ هي فترة الثقة بدرجة ٩٥% لمعامل الارتباط.

مثال (١٠ - ٤) :

في عينة من ٩ أزواج من المشاهدات وجد أن معامل الارتباط $-0,889$ أوجد فترة ثقة بدرجة ٩٩% لمعامل الارتباط في المجتمع.

الحل :

من الجدول (١١) : $r = -0,889$ وإذن $E = 1,417$ (مع إهمال إشارة r)

$$\text{الخطأ المعياري} = \frac{1}{\sqrt{3-2}} = \frac{1}{\sqrt{1}} = 1,408$$

الحد الأدنى للفترة للبارامتر $\rho = 1,417 - 1,408 \times 2,58 = -0,366$.

الحد الأعلى للفترة للبارامتر $\rho = 1,417 + 1,408 \times 2,58 = 2,468$

∴ الفترة $(-0,37, 2,47)$ هي فترة ثقة بدرجة ٩٩% للبارامتر ρ . من الجدول

(١٢) ومع استرجاع إشارة r تكون الفترة $(-0,986, -0,354)$ هي فترة ثقة بدرجة ٩٩% لمعامل الارتباط ρ .

(ثالثا) اختبار دلالة الفرق بين معاملي ارتباط عيّنتين مستقلتين :

نفرض أن لدينا عيّنتين مستقلتين حجمهما n_1 ، n_2 من الأزواج أعطيتا معاملي ارتباط r_1 ، r_2 . نريد أن نختبر ما إذا كان من الممكن اعتبار هاتين العيّنتين مأخوذتين من نفس المجتمع (أو من مجتمعين لهما نفس معامل الارتباط) ، أى نريد أن نختبر ما إذا كان الفرق بين r_1 ، r_2 ذا دلالة .

نحول القيمتين r_1 ، r_2 إلى القيمتين المناظرتين E_1 ، E_2 باستخدام الجدول (١١) . إذا كانت العيّنتان مستقلتين ومأخوذتين من نفس المجتمع المعتدل فإن الفرق بين E_1 ، E_2 يكون له توزيع معتدل تباينه يساوى مجموع تباينهما ، أى

$$\sigma_{E_1 - E_2}^2 = \frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3} \quad (١٣)$$

ويكون الخطأ المعياري للفرق $|E_1 - E_2|$ هو الجذر التربيعي لهذا المقدار . وعلى ذلك نستطيع اختبار دلالة الفرق بين E_1 ، E_2 (أى بين r_1 ، r_2) بواسطة التوزيع المعتدل .

مثال (١٠ - ٥) :

في عينة عشوائية من ٥ أبقار وجد أن معامل الارتباط بين الزيادة في الوزن ومقدار الغذاء المأكول ٠,٨٧ ، وفي عينة عشوائية مستقلة حجمها ١٢ بقرة وجد أن معامل الارتباط ٠,٥٦ فهل هذان المعاملان مختلفان اختلافا جوهريا ؟ استخدم مستوى الدلالة ٥% .

الحل :

الفرض الصفري $r = 0$ والفرض الآخر $r \neq 0$

من الجدول (١١) نجد أن $r_1 = ٠,٨٧$ ومنها $E_1 = ١,٣٣٣$

$r_2 = ٠,٥٦$ ومنها $E_2 = ٠,٦٣٣$

تباين الفرق ع_١ - ع_٢ يساوى مجموع التباينين

$$0,611 = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} =$$

$$\therefore \text{الخطأ المعياري للفرق} = \sqrt{0,611} = 0,782$$

على أساس صحة الفرض الصفري ص_٠ = ص_١ (أى ع_١ = ع_٢)

$$\text{ص} = \frac{(1,233 - 0,633) - \text{صفر}}{0,782} = 0,895$$

وهذه القيمة تقل عن ١,٩٦ فهي ليست ذات دلالة ولا يسعنا ألا أن نحكم بأن ص_١ = ص_٢.

(١٠ - ٦) التمييز بين الانحدار والارتباط في دراسة المشكلات :

كل من الانحدار والارتباط الخطي البسيط يتناول العلاقة الخطية بين متغيرين كميّين ص_١ ، ص_٢ . إلا أن هناك مواقف تستدعى استخدام أسلوب الانحدار ولا يجوز أن تُدرس بأسلوب الارتباط ، كما أن هناك مواقف تستدعى استخدام أسلوب الارتباط ولا يجوز أن تُدرس بأسلوب الانحدار . ذلك أن الافتراضات التي يبنى عليها التحليل تختلف في الانحدار عنها في الارتباط خاصة فيما يتعلق بنوعية المتغير ص_٢ ، حيث نفترض في الانحدار أن ص_٢ متغير رياضى لا يتأثر بالعوامل العشوائية بينما نفترض في الارتباط أنه عشوائى . وهذا الاختلاف في النظر إلى المتغير ص_٢ يعنى من الناحية العملية اختلافا في طريقة المعاينة . وعلى ذلك فإن اختيار الأسلوب الذى يناسب مشكلة ما - انحدار أو ارتباط - يتوقف على الطريقة التى تتبع فى عملية المعاينة أى فى عملية جمع البيانات .

فلاستخدام أسلوب الانحدار يتطلب الأمر أن يختار الباحث قيما ثابتة من المتغير ص_٢ يحددها قبل إجراء التجربة ثم يقوم بملاحظة ما يظهر من القيم المناظرة للمتغير

من عند إجراء التجربة . فمثلا في دراسة العلاقة بين جرعات دواء مهدئ وقدرة الانسان على حل المشاكل المنطقية يبدأ الباحث بتحديد بضعة جرعات مختلفة التركيب من هذا الدواء (قيم المتغير من) ثم يختار عينة عشوائية من الأفراد يقسمها عشوائيا إلى مجموعات عددها هو عدد الجرعات المختلفة ويعطى لأفراد كل مجموعة واحدة من تلك الجرعات ، ثم يستخدم أحد الاختبارات لقياس القدرة المنطقية لكل فرد فيحصل على قيم للمتغير من . كذلك في دراسة العلاقة بين طول نبات ومحتوى النيتروجين في التربة يبدأ الباحث بتحديد عدة أحواض زراعية تختلف في محتوى النيتروجين (قيم من) ويزرع النبات في كل منها ثم يقيس أطوال النباتات بعد فترة من الزمن ليحصل على قيم للمتغير من . في مثل هاتين الحالتين تكون قيم من فقط خاضعة للمؤثرات العشوائية ، أما قيم من فتكون قيما ثابتة . وينبغي هنا تناول البيانات بأسلوب الانحدار حيث نقوم بإيجاد معادلة تشير إلى مدى اعتماد المتغير من على المتغير من ، ويحق لنا أن نصف من بأنه المتغير المستقل وأن نصف من بأنه المتغير التابع .

أما في أسلوب الارتباط فيطلب الأمر أن يبدأ الباحث باختيار عينة عشوائية من المجتمع ثم يقوم بقياس كل من قيم من ، من لكل وحدة من وحدات العينة وبذلك تكون جميع القيم السينية والصادية خاضعة للمؤثرات العشوائية إذ يكون لكل منها حرية تامة في اتخاذ أى قيمة من القيم الممكنة في المجتمع . فمثلا في دراسة العلاقة بين طول الذراع وطول الرجل لمجتمع من الأطفال ، يختار الباحث عينة عشوائية من الأطفال ثم يقوم بقياس كل من المتغيرين . كذلك في دراسة العلاقة بين محتوى الكالسترو في الدم ووزن الجسم في مجتمع من المرضى بمرض معين نأخذ عينة عشوائية من هؤلاء المرضى ثم نقيس كلا من هذين المتغيرين . في مثل هاتين الحالتين تكون قيم كل من المتغيرين من ، من عشوائية . وينبغي هنا استخدام أسلوب الارتباط حيث نقوم بإيجاد عدد نقدر به الدرجة التي يتغير بها المتغيران معا دون تمييز بين متغير مستقل وآخر تابع .

وفي الحالات التي تتطلب دراستها استخدام أسلوب الانحدار يمكن من الناحية الحسابية إيجاد معامل الارتباط ، ولكن المعامل الناتج يكون مجرد عدد لا معنى له ولا يجوز أن يؤخذ كتقدير للارتباط بين المتغيرين . (وهذا لا يتناقض مع استخدامنا لمربع معامل الارتباط وهو ما سميناه بمعامل التحديد ، في تحليل الانحدار كما رأينا في الفصل السابق) .

كذلك ، في الحالات التي تتطلب دراستها استخدام أسلوب الارتباط يمكن من الناحية الحسابية إيجاد معادلة الانحدار ، ولكن المعادلة الناتجة لا تحقق الهدف منها كمعادلة تنبؤ أو لبيان العلاقة الخطية بين المتغيرين لأن التقديرين أ ، ب يكونان في هذه الحالة تقديرين متحيزين للبارامترين α ، β . ويتضح ذلك عندما نتذكر أننا في قياس دقة المقدار

ب في تقدير البارامتر β نستخدم الخطأ المعياري σ_{β} / $\sqrt{22}$ (س) الذي يعتمد على قيمة σ^2 (س) = σ^2 (س - س) - σ^2 (س - س) راجع البند (٩ - ٥ - أولاً) فإذا لم تكن قيم س ثابتة فإن قيمة هذا الخطأ المعياري تختلف من عينة إلى أخرى وبالتالي تختلف درجة دقة التقدير من عينة إلى أخرى .

إن التمييز بين الحالات التي تدرس بأسلوب الانحدار وتلك التي تدرس بأسلوب الارتباط هو أمر على درجة كبيرة من الأهمية . وقد لوحظ أن الأمر يختلط في كثير من الحالات فتعامل مشكلات الانحدار على أنها ارتباط وتعامل مشكلات الارتباط على أنها انحدار ، بل ويصل الأمر أحيانا إلى معاملة المشكلة الواحدة على أنها انحدار وارتباط في آن واحد ، رغم أن طريقة المعاينة لا تسمح إلا باستخدام واحد فقط من هذين الأسلوبين . ويبدو أن السبب في هذا اللبس يرجع إلى وجود علاقات رياضية كثيرة بين المعاملات في هذين النوعين من التحليل ، غير أن العلاقات الرياضية شيء والتحليل الإحصائي شيء آخر .

وجدير بالذكر أنه من الممكن دراسة الانحدار حين يكون كل من المتغيرين س ،

مع عشوائيا ، ولكن ذلك يتطلب استخدام نموذج إحصائي يختلف عن النموذج الذى استخدمناه فى الفصل السابق بحيث يسمح بوجود خطأ عشوائى فى المتغير مع . وسوف لا نتعرض لدراسة هذا النموذج خاصة وأنه يفضل دراسة مثل هذه الحالة بأسلوب الارتباط .

(١٠ - ٧) معامل ارتباط الرتب (سبيرمان) :

RANK CORRELATION COEFFICIENT

بالرغم من أن معامل ارتباط بيرسون يستخدم أساسا فى حالة المتغيرات المتصلة إلا أنه يستخدم أيضا فى حالات أخرى . ومن هذه الحالات الحالة التى يتعذر فيها قياس المفردات بالمقياس العددي المعتاد وإنما يمكن قياسها بميزان الترتيب حيث تأخذ كل مفردة ترتيبين س ، ص تعبر الأولى عن ترتيب المفردة بالنسبة للمتغير الأول وتعبر الثانية عن ترتيبها بالنسبة للمتغير الثانى ويكون المطلوب قياس الارتباط بين الترتيبين . ومثال ذلك قيام اثنين من الحكام بترتيب عدد من المتقدمين لشغل وظيفة بحسب أفضليتهم لهذه الوظيفة ثم قياس مدى الاتفاق بين الحكمين . فى هذه الحالة يمكن إثبات أن معامل الارتباط العزمى يأخذ الصيغة البسيطة الآتية التى تعزى إلى سبيرمان ويرمز له بالرمز r_s حيث

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{وحيث } d_i = s_i - v_i \quad (١٤)$$

مثال (١٠ - ٣) :

كانت تراتيب ١٢ طالباً فى مادتي الفيزياء س والرياضيات ص كما يلى :

س :	٦	٢	٥	٨	٣	١٠	٤	١	١٢	٩	٧	١١
ص :	٩	٢	٤	٧	٣	١٢	٦	١	١١	٨	٥	١٠

أوجد معامل الارتباط الخطى .

الحل :

بما أن المتغيرين مقاسان بميزان الترتيب فمن الأسهل استخدام معامل ارتباط الرتب كما في الجدول الآتي ، الذي يستخدم الصيغة (١٤) .

الجدول (١٠-٢)

إيجاد معامل ارتباط الرتب من بيانات المثال (١٠-٣)

س	ص	ف	ف ^٢
١١	١٠	١	١
٧	٥	٢	٤
٩	٨	١	١
١٢	١١	١	١
١	١	٠	٠
٤	٦	٢-	٤
١٠	١٢	٢-	٤
٣	٣	٠	٠
٨	٧	١	١
٥	٤	١	١
٢	٢	٠	٠
٦	٩	٣-	٩
		صفر	٢٦

بالتعويض في (١٤) نجد أن :

$$r = 1 - \frac{26 \times 6}{143 \times 12} = 0,91$$

ونحصل على هذه النتيجة بالضبط إذا استخدمنا معامل ارتباط بيرسون المعروف في (٥) ، مع ملاحظة أنه قد يوجد فرق طفيف يعود إلى عمليات تقريب الأعداد .

(١٠ - ٨) مميزات معامل ارتباط الرتب :

كما سبق القول ، يصلح معامل ارتباط الرتب المعروف في (١٤) لقياس الارتباط بين المتغيرات التي تقاس بميزان الترتيب وهو يصلح أيضاً للمتغيرات التي تقاس بالمقياس العددي المعتاد ولكن يكون من المرغوب فيه تعيين رتب لكل مفردة بدلا من قيمها العددية . ومن أهم مميزات هذا المعامل أنه لا يشترط فرض اعتدالية المتغيرين ، ص ، بل لا يشترط فرض وجود علاقة خطية بينهما ومن هنا فهو يفضل معامل الارتباط العزمي في الحالة التي لا يتوفر فيها هذان الشرطان ، وقياس الارتباط بواسطة معامل الرتب يعتبر من فصيلة المقاييس غير البارامترية أى التي لا تستلزم وضع فروض معينة على توزيعات المجتمعات .

ومن الأمثلة التي يستخدم فيها هذا المعامل في العلوم البيولوجية قياس الارتباط بين ترتيب انبثاق يرقات مجموعة من الحشرات وترتيب حجمها ، أو بين ترتيب استنبات مجموعة من النباتات وترتيب تزهيرها ، أو لقياس الاتفاق بين اثنين من البيولوجيين في ترتيبهما لمجموعة من الكائنات العضوية من حيث أكثرها شبهاً لصيغة معينة إلى أقلها شبهاً بها .

مثال (١٠ - ٤) :

في عشرة أنواع من السجائر وجدت المقادير الآتية بالمليجرام من القار والنيكوتين . حول هذه المقادير إلى رتب ثم أوجد معامل ارتباط الرتب لقياس درجة العلاقة بين محتويات القار والنيكوتين .

النوع : (١) (٢) (٣) (٤) (٥) (٦) (٧) (٨) (٩) (١٠)
 محتوى القار : ١٤ ١٧ ٢٨ ١٧ ١٦ ١٣ ٢٤ ٢٥ ١٨ ٣١
 محتوى النيكتوتين : ٠,٩ ١,١ ١,٦ ١,٣ ١,٠ ٠,٨ ١,٥ ١,٤ ١,٢ ٢,٠

الحل :

نرتب كلا من مفردات المجموعتين بحسب الأصغر فالأكبر (أو العكس) كما
 في الجدول الآتي ، حيث وضعت الترتيب بدلا من القيم المعطاة .

الجدول (١٠ - ٣)

النوع	س	ص	ف	ف ^٢
(١)	٢	٢	٠	٠
(٢)	٤,٥	٤	٠,٥	٠,٢٥
(٣)	٩	٩	٠	٠
(٤)	٤,٥	٦	١,٥-	٢,٢٥
(٥)	٣	٣	٠	٠
(٦)	١	١	٠	٠
(٧)	٧	٨	١-	١
(٨)	٨	٧	١	١
(٩)	٦	٥	١	١
(١٠)	١٠	١٠	٠	٠
			صفر	٥,٥

$$٠,٩٦٦٧ = \frac{٥,٥ \times ٦}{٩٩ \times ١٠} - ١ = \text{نجد أن س}$$

ملاحظة (٤) :

إذا كان لمفردتين أو أكثر نفس القيمة العددية ، تعطى لكل منها رتبة تساوى الوسط الحسابي للترتيب التي كانت ستأخذها هذه المفردات لو أنها كانت مختلفة القيم ، فمثلا في عتوى القار لدينا عددان متساويان ١٧ ، ١٧ والمفروض أن أحدهما الرابع والآخر الخامس ولذلك أعطى لكل منهما الترتيب $\frac{1}{2}$ (٤ + ٥) = ٤,٥ .

ملاحظة (٥) :

إذا كانت البيانات أصلا على هيئة أزواج من الترتيب كما في المثال (١٠ - ٣) فإن معامل الارتباط العزمى يساوى بالضبط معامل ارتباط الرتب . أما إذا كانت البيانات أصلا على هيئة أزواج من القيم العددية كما في المثال (١٠ - ٤) ، فإن معامل الارتباط العزمى لها لا يساوى معامل ارتباط الرتب الناتج من تحويل هذه القيم إلى رتب .

(١٠ - ٩) دلالة معامل ارتباط الرتب :

إن الإحصاءة التي يعبر عنها معامل ارتباط الرتب r_s المعروف بالصيغة (١٤) توزيعها متائل حول الصفر . ويمكن إثبات أنه إذا كان المتغيران x ، y مستقلين

فإن هذا التوزيع يقترب من توزيع معتدل وسطه الحسابي صفر وتباينه $\frac{1}{n-1}$

حين تقترب n من اللانهاية . وعلى ذلك عندما يكون حجم العينة كبيراً ($n > 30$) نستطيع أن نختبر ما إذا كان هناك ارتباط ذو دلالة بين المتغيرين وذلك بحساب القيمة .

$$Z = \frac{r_s - 0}{\sqrt{\frac{1}{n-1}}} = r_s \sqrt{n-1}$$

ومقارنتها بالقيم الحرجة للتوزيع المعتدل المعيارى ، مع ملاحظة أن الفرض الصفرى هو $\rho = 0$ والفرض الآخر هو $\rho \neq 0$.

راجع المسألة (١ - ح) من تمارين (٤) .

فمثلاً إذا كانت $h = 0.50$ ، $\alpha = 0.01$ فإن :

$$2.87 = \sqrt{49} \cdot 0.41 = \epsilon$$

∴ $2.87 < 2.58$ نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة 0.01 ونحكم بوجود ارتباط بين المتغيرين .

أما إذا كانت $h \geq 30$ وعلى فرض استقلال المتغيرين أيضاً نستخدم الجدول (١٠) بملحق هذا الكتاب الذى يعطى القيم الحرجة اليمنى عند مستويات الدلالة 0.05 ، 0.025 ، 0.01 ، 0.005 ، وحيث $h = 5$ ، 6 ، 0.000 ، 30 لمقارنتها بالقيم الموجبة لمعامل ارتباط الرتب r_s الناتجة من العينة . وبالنسبة للقيم السالبة لهذا المعامل نستفيد من تماثل التوزيع فى إيجاد القيم الحرجة . ففى المثال (١٠ - ٤) الأخير وجدنا أن $r_s = 0.9667$ ، $h = 10$

الفرض الصفري $F_0 : r_s = 0$

الفرض الآخر $F_1 : r_s < 0$ اختبار ذو جانب واحد

من الجدول (١٠) القيمة الحرجة اليمنى عند $h = 10$ ، $\alpha = 0.01$ هى 0.745 ، وحيث أن هذه القيمة أصغر من 0.9667 نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة 0.01 لصالح الفرض الآخر ونستنتج أن هناك ارتباطاً موجباً بين مقادير القار ومقادير النيكوتين .

ملاحظة (٦) - الارتباط والسببية :

إذا وجدنا أن هناك ارتباطاً بين متغيرين فلا ينبغي أن نسارع بالقول بوجود علاقة سببية بينهما أو بأن أحدهما يحدث نتيجة للآخر . وهناك حالات يكون

ففي هذا القول صحيحاً ويكون التغير في أحد المتغيرين هو فعلاً سبب أو أحد أسباب التغير في الآخر كما هو الحال مثلاً بين درجة الحرارة وعدد ضربات القلب ، وهناك حالات لا يصح فيها الاستنتاج حيث يكون الارتباط الذي ظهر بين المتغيرين ناشئاً عن وجود متغير ثالث أو أكثر يؤثر فيهما معاً فيحدث هذا الارتباط ، كما هو الحال مثلاً بين النجاح في الرياضيات والنجاح في التاريخ حيث يؤثر في كل منهما الذكاء أو المثابرة أو البيئة المنزلية وما إلى ذلك . إن تفسير وجود الارتباط لا يكون بناء على قيمة معامل الارتباط فقط بل على ما لدينا من معلومات عن المتغيرين اللذين ندرسهما .

تمارين (١٠)

في كل من المسائل الخمسة الآتية أوجد معامل الارتباط العزمي (بيرسون) من العينة المعطاة واختبر ما إذا كان المتغيران س ، ص مرتبطين خطياً .

(١) س : ٣١٠ ٣٢٠ ٣٢٠ ٨٠ ٣٢٠ ١٠٠ ٢٣٠ ٣٨٤ ٤٥ ١٠٠ ١٧٩ ١٥٩
ص : ٩,٥٢ ١٧,٣٥ ١٥,٢٩ ٤,١٩ ١٥,٨١ ١,٤١ ١٤,٩٠ ٢٢,٧٠ ٢,٥٠ ١١,٣٠ ١٥,٢٠ ١٤,٤٠

حيث س وزن الخيشوم بالمللجرام ، ص وزن الجسم بالجرامات لعينة حجمها ١٢ من نوع من سرطان البحر (أبو جلمبو) .

(٢) س : ١٦ ٢١ ١٩ ٢٠ ٢٢ ٢٤ ٢٣ ٢٠ ٢٢ ١٧
ص : ٨ ١٠ ٩ ١٠ ١١ ١٢ ١٤ ٩ ١٢ ٧

حيث س طول نوع معين من نبات البسلة بالمليمترات ، ص الوزن بالمللجرام .

(٣) س : ٥٢ ٥٠ ٤٨ ٥٢ ٥٢ ٥١ ٤٧ ٥١ ٥٠ ٤٨ ٥٢
ص : ٣٧ ٣٤ ٣٤ ٣٧ ٣٦ ٣٦ ٣٥ ٣٥ ٣٤ ٣٤ ٣٦
س : ٥٤ ٥١ ٤٨ ٥٠ ٥٠ ٤٨ ٤٨ ٤٨ ٤٩ ٥٠ ٥٠ ٥٢
ص : ٣٨ ٣٦ ٣٤ ٣٣ ٣٥ ٣٥ ٣٣ ٣٤ ٣٤ ٣٤ ٣٥ ٣٦

حيث س طول جسم طفل حديث الولادة ، ص طول محيط رأسه
بالسنتيمترات .

(٤) س : ٥٨ ٦١ ٥٥ ٦٠ ٥٥ ٦٢ ٥٢ ٥٧ ٥٦ ٥٨
ص : ٤٤ ٤٥ ٤٥ ٤٢ ٤٠ ٤٤ ٤٤ ٤٢ ٤٣ ٤١

حيث س ، ص هما أكبر وأصغر قطر لبيض الدجاج بالمليمترات .

(٥) س : ٧,٥ ٢,١ ٣,٨ ٥,٢ ٦,١ ٥,٦ ٥,٩ ٤,٥ ٤,٣
ص : ١٠٨ ١٤١ ١٣٢ ١١٨ ١١٤ ١١٨ ١١٦ ١٢١ ١٢٦

حيث س مقدار المطر في اليوم (٠,٠١ من السنتيمتر) ، ص مقدار مازال من
تلوث الهواء نتيجة للمطر (ميكروجرام / متر مكعب) . (لتسهيل الحساب اطرح
١٠٠ من قيم ص) .

(٦) طلب من اثنين من المحكمين ترتيب ١٠ أشخاص متقدمين لوظيفة ما
فكانت النتيجة كما يلي . أوجد معامل الارتباط (سبيرمان) واختبر ما إذا كان هناك
ارتباط موجب بين المحكمين .

المحكم الأول : ٩ ٤ ٦ ٥ ٣ ١ ٨ ٢ ٧
المحكم الثاني : ٨ ٤ ٩ ٦ ١ ٢ ٧ ١٠ ٣ ٥

(٧) الجدول الآتي يبين عدد الساعات (لعينة عشوائية من ١٠ طلاب) التي استذكر فيها هؤلاء الطلاب لاختبار ما وعدد الدرجات التي حصلوا عليها في هذا الاختبار :

عدد ساعات الدراسة : ٨ ٥ ١١ ١٣ ١٠ ٥ ١٨ ١٥ ٢ ٨
درجة الاختبار : ٥٦ ٤٤ ٧٩ ٧٢ ٧٠ ٥٤ ٩٤ ٨٥ ٣٣ ٦٥

حول هذه القيم إلى رتب ثم أوجد معامل ارتباط الرتب (سبيرمان) .
اختبر ما إذا كان هناك ارتباط موجب بين عدد ساعات الدراسة ودرجة الاختبار .

(٨) في عينتين مستقلتين حجمهما ٢٣ ، ٢٨ من أزواج القيم وجد أن معامل الارتباط العزمي بين المتغيرين ٠,٥ ، ٠,٨ ، على الترتيب . اختبر ما إذا كان هذان المعاملان مختلفين اختلافا ذا دلالة .

الفصل الحادى عشر

تحليل التغاير

ANALYSIS OF COVARIANCE

(١١ - ١) التغاير :

لعله من المفيد فى مستهل هذا الفصل أن نذكر القارئ بالمقصود حسابيا بكلمة « التغاير » التى سبق أن وردت فى عدة مناسبات فى هذا الكتاب .

إذا كانت

s_1	s_2	s_3	...	s_n
\bar{s}_1	\bar{s}_2	\bar{s}_3	...	\bar{s}_n

هى n من أزواج الأعداد فإن تغاير (س ، ص) يعرف بأنه متوسط مجموع حواصل ضرب انحرافات القيم السنية عن متوسطها \bar{s} وانحرافات القيم الصادية عن متوسطها \bar{v} . أى أن :

$$\text{تغاير (س ، ص)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})(v_i - \bar{v})$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i v_i - \frac{(\sum s_i)(\sum v_i)}{n}$$

والمقدار الذى بين القوسين يسمى مجموع حواصل ضرب الانحرافات السينية والانحرافات الصادية عن متوسطيهما أو اختصارا مجموع حواصل الضرب وسنرمز له بالرمز Σ (س ، ص) . وهذا المقدار يمكن أن يكون موجبا أو سالبا أو صفرا .

وكما فى التباين ، إذا كانت أزواج القيم (س ، ص) هى عينات عشوائية من مجتمع ذى متغيرين وأردنا تقدير التغير فى هذا المجتمع من التغير فى العينة فإننا نقسم حواصل الضرب على Σ بدلا من Σ وذلك لكى يكون هذا التقدير تقديرا غير متحيز ، أى نكتب :

$$(2) \quad \text{تغير (س ، ص)} = \frac{1}{\Sigma} (\Sigma \text{س ص} - \frac{\Sigma^2}{\Sigma})$$

حيث Σ مجموع السينات ، Σ مجموع الصادات .

وكما فى التباين أيضا ، ونظرا لأن قيم الانحرافات عن الوسط الحسابى (أو أى قيمة أخرى) لا تتغير بتغير نقطة الأصل فإن قيمة التغير لا تتغير إذا جمعنا أو طرحنا عددا ثابتا من جميع السينات ، وجمعنا أو طرحنا عددا ثابتا من جميع الصادات .

(١١ - ٢) العلاقة بين تحليل التغير وتحليل التباين :

فى تحليل التباين بالتمودج ثابت التأثيرات للتجارب ذوات العامل الواحد يكون لدينا متغير كمى Σ قسمت قيمه فى عينة ما إلى عدد من المجموعات تناظر مستويات عامل تجريب نوعى مستقل عن المتغير Σ . وتهدف الدراسة إلى اختبار دلالة الفروق بين المتوسطات الصادية فى هذه الأقسام لمعرفة مدى تأثير عامل

التجريب عليها . وتتخذ البيانات المشاهدة في العينة الشكل المبين بالجدول (٨ - ١) بالبند (٨ - ٤) .

إلا أنه في بعض هذه التجارب يكون المتغير v واقعا تحت تأثير متغير كمي x يسمى بالمتغير الملازم للمتغير v Concomitant variable or covariate ، فمثلا قد يكون المتغير v هو درجات الطلاب في اختبار رياضيات بعد دراسة مقرر ما فيها ويكون عامل التجريب هو طرق تدريس هذا المقرر . ونظرا لأن استيعاب الطلاب للرياضيات يعتمد على ذكائهم فإن درجاتهم في الاختبار تكون متأثرة بالذكاء ونقول حينئذ إن المتغير v (نسب ذكاء الطلاب) هو متغير ملازم للمتغير v . وإذا كان اهتمامنا هو قياس أثر اختلاف مستويات عامل التجريب (طرق التدريس) على المتوسطات الصادية (درجات الرياضيات) عن طريق تحليل التباين فإن دقة هذا القياس تستلزم استبعاد أثر المتغير v (الذكاء) من قيم المتغير v قبل إجراء هذه العملية .

وفي بعض التجارب يمكن استبعاد هذا الأثر قبل عملية التجريب ، وذلك بأخذ عينات الطلاب التي تختار للتجريب بحيث تكون متكافئة في الذكاء ، وهنا نستطيع اختبار الفروق بين متوسطات الدرجات بالطريقة المعتادة لتحليل التباين على أساس أن هذه المتوسطات تكون متأثرة فقط بعامل التجريب . غير أن ظروف التجريب قد لا تتيح لنا التحكم في العينات من حيث جعلها متكافئة في المتغير الملازم (الذكاء) وهنا يكون لهذا المتغير أثر على المتغير v (درجات الرياضيات) ولا ينبغي القيام بتحليل التباين إلا بعد استبعاد هذا الأثر . وهذا هو الدور الذي يلعبه تحليل التباين إذ هو يتألف من شقين أولهما تعديل قيم المتغير v لاستبعاد أثر المتغير الملازم v وثانيهما تحليل التباين للقيم الصادية المعدلة .

ولكن كيف نصحح القيم الصادية المشاهدة لإزالة أثر هذا المتغير ؟ إذا كان لهذا الأثر وجود فعلي فإن انحدار المتغير v على المتغير v يكون له وجود أيضاً ويكون

الجدول (١١ - ١)

بيانات تحليل التباين

الأقسام (المعالجات)					
(١)		(٢)		(٣)	
س _١ ص _١	س _٢ ص _٢	...	س _١ ص _١	س _٢ ص _٢	...
س _{١١} ص _{١١}	س _{٢١} ص _{٢١}	...	س _{١١} ص _{١١}	س _{٢١} ص _{٢١}	...
س _{١٢} ص _{١٢}	س _{٢٢} ص _{٢٢}	...	س _{١٢} ص _{١٢}	س _{٢٢} ص _{٢٢}	...
...
...
س _{١٣} ص _{١٣}	س _{٢٣} ص _{٢٣}	...	س _{١٣} ص _{١٣}	س _{٢٣} ص _{٢٣}	...
...
...
س _{١٤} ص _{١٤}	س _{٢٤} ص _{٢٤}	...	س _{١٤} ص _{١٤}	س _{٢٤} ص _{٢٤}	...
...
...
س _{١٥} ص _{١٥}	س _{٢٥} ص _{٢٥}	...	س _{١٥} ص _{١٥}	س _{٢٥} ص _{٢٥}	...
...
...
م _١ ص _١	م _٢ ص _٢	...	م _١ ص _١	م _٢ ص _٢	...
...
...

والنموذج الذي نفترضه لتحليل التباين هو تطوير للنموذج الذي افترضناه في تحليل التباين بالبند (٨ - ٤ - ١) ، ويتخذ الصيغة الآتية :

$$ص_{١١} = \mu + \beta (س_{١١} - س) + خ_{١١} \quad (٣)$$

حيث β معامل انحدار ص على س ، $س = ١ ، ٢ ، ... ، ن$ ، $ق = ١ ، ٢ ، ... ، ك$

وهذا النموذج كما نرى يفسح مكانا لأثر الانحدار ص على س بالإضافة إلى أثر مستويات عامل التجريب وأثر الخطأ العشوائى .

ففي هذا النموذج نفترض الافتراضات المعتادة في تحليل التباين - راجع البند (٨ - ٤ - ١) - وكذلك الافتراضات المعتادة لتحليل الانحدار - راجع البندين (٩ - ١) ، (٩ - ٥) . وبالإضافة إلى ذلك نفترض فرضا أساسيا في تحليل التباين وهو أن العلاقة الخطية بين ص هـ لها نفس معامل الانحدار β في جميع الأقسام أى يمكن تمثيل هذه العلاقات في الأقسام المختلفة بخطوط متوازية ، فإذا كانت $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ هي معاملات الانحدار داخل الأقسام ، فإننا نفترض أن $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = \beta$ وبذلك يمكن ضم البيانات بداخل الأقسام لتعطى تقديرا موحدا للبارامتر β ، وهذا التقدير هو كما نعلم $\frac{\sum (ص - \bar{ص})}{\sum (س - \bar{س})}$ محسوبا من داخل الأقسام .

إذا كتبنا النموذج (٣) على الصورة

$$\begin{aligned} ص_{سج} - \beta (س_{سج} - \bar{س}) &= \epsilon_{سج} + \chi_{سج} \\ \text{أى} \quad ص_{سج} &= \beta س_{سج} + \epsilon_{سج} + \chi_{سج} \end{aligned} \quad (٤)$$

يتبين لنا أن تحليل التباين يتطلب إجراء نوعين من التحليل هما :

١ - تحليل الانحدار لتقدير قيمة β ومن ثم تعديل القيم $ص_{سج}$ المشاهدة إلى القيم $ص_{سج}$ لإزالة أثر المتغير الملزم ص هـ .

٢ - تحليل التباين للقيم المعدلة $ص_{سج}$ لاختبار أثر مستويات التجريب على متوسطاتها . أى أن تحليل التباين يجمع بين عملية تحليل الانحدار وعملية تتلوها هى عملية تحليل التباين .

(١١ - ٤) خطوات تحليل التغيرات :

إن الهدف من تحليل التغيرات هو كما سبق القول اختبار دلالة الفروق بين متوسطات المتغير التابع \bar{y} بعد تصحيحها لاستبعاد أثر المتغير الملازم \bar{y}_1 . ومن حقنا أن نسأل بداية عما إذا كان للمتغير \bar{y} أثر فعلي على المتغير \bar{y}_1 بحيث يستحق عناء عملية الاستبعاد . ولذلك فإن أول ما نهم به اختبار وجود هذا الأثر أى اختبار وجود علاقة بين \bar{y} ، \bar{y}_1 ، فإذا لم يثبت وجود هذه العلاقة لا يكون هناك ما يدعو لعملية الاستبعاد بل نقوم بتحليل التباين على القيم الصادية المشاهدة دون تعديل . أما إذا ثبت وجودها فينبغى تصحيح هذه القيم قبل إجراء عملية تحليل التباين .

فالخطوة الأولى لتحليل التغيرات إذن هى تحليل الانحدار لاختبار أثر المتغير \bar{y} على المتغير \bar{y}_1 ، فإذا ثبتت دلالة الانحدار فإن الخطوة الثانية هى القيام بتحليل التباين للقيم الصادية المعدلة لاختبار أثر عامل التجريب . والمعتاد أن نهمد هاتين الخطوتين ببعض الحسابات الأولية . وسنوضح ذلك كله بالمثال الآتى .

المثال (١١ - ١) :

فى إحدى التجارب الزراعية الاقتصادية فى قطر ما ، اختبرت ست قرى عشوائية واختير فى كل منها خمس مزارع عشوائية . سجلت بالجدول (١١ - ٢) الآتى تكاليف إنتاج محصول الذرة (ص) فى فصل زراعى ما فى كل مزرعة كما سجلت متوسطات المحاصيل (س) التى كانت قد نتجت فى فصول زراعية سابقة فى كل مزرعة . المطلوب استخدام هذه البيانات (أولا) لمعرفة ما إذا كان هناك أثر للمحصول السابق (س) على تكاليف الإنتاج (ص) ، (ثانيا) لمعرفة ما إذا كانت تكاليف الإنتاج تختلف من قرية إلى أخرى بعد استبعاد أثر مقدار المحصول السابق إذا كان لهذا الأثر وجود . (لتسهيل الحساب طُرح العدد ١٢ من جميع قيم س والعدد ٣ من جميع قيم ص) .

الجدول (١١ - ٢)

القرى المزارع	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
	ص _١ ص _١	ص _٢ ص _٢	ص _٣ ص _٣	ص _٤ ص _٤	ص _٥ ص _٥	ص _٦ ص _٦
(١)	١,٧ ٣	٠,٨ ٠	١,٥ ٣-	٠,٢- ٤	١,٧ ٢-	٠,٥ ١
(٢)	٢,١ ١-	٠,٨- ٥	٠,٦ ٠	١	٢,٣ ٣-	١ ١-
(٣)	٣,٠ ٣-	١,٠- ٧	١,٠ ٢-	٠,٢- ٣	٢,٦ ٤-	٠,٥- ٦
(٤)	١,٣ ٢	١,٦ ١-	٠,٤ ١	١,٢ ٢-	١,٠	٠,٧ ٢
(٥)	٠,٩ ٥	٠,٤ ٢	٢,٥ ٤-	٠,٢ ٠	١,٤ ١-	١,٣ ٠
المجموع	٩ ٦	١ ١٣	٦ ٨-	١ ٦	١٠- ٩	٣ ٨
التوسطات	١,٨ ١,٢	٠,٢ ٢,٦	١,٢ ١,٦-	١,٢ ١,٢	١,٨ ٢-	٠,٦ ١,٦

مح مح ص = ١٥ ، $\overline{\text{ص}} = ٠,٥$ ، مح مح ص = ٢٩ ، $\overline{\text{ص}} = ٠,٩٦٦٧$
مع ملاحظة أن ن = ٣٠

حسابات تمهيدية :

هذه الحسابات تجرى في بداية التحليل لخدمة الخطوتين الرئيسيتين المذكورتين ، وهى تتألف من ثلاث مجموعات من الحسابات ترمى المجموعة الأولى إلى إيجاد مجموع المربعات ٢٢ (ص) للمتغير ص وسنرمز له بالرمز ا ثم تحليله بالطريقة المعتادة لتحليل التباين إلى مركبتين لإحداهما تعبر عن الاختلاف بين الأقسام وسنرمز له بالرمز ا_١ والأخرى تعبر عن الاختلاف المتبقى داخل الأقسام وسنرمز له بالرمز

١ . وبالمثل بالنسبة لمجموع المربعات $\sum_{i=1}^n x_i^2$ (ص) للمتغير ص الذى سنرمز له بالرمز
 ب ولركبتيه بالرمزين b_1 ، b_2 ، ثم بالنسبة لمجموع حواصل الضرب $\sum_{i=1}^n x_i x_{i+1}$
 (س ، ص) الذى سنرمز له بالرمز ح ولركبتيه بالرمزين c_1 ، c_2 .
 وتعتمد هذه الحسابات على المجاميع الآتية التى يحسن إيجادها مقدما .

$$x_1^2 = x_1 x_1 , x_2^2 = x_2 x_2 , \dots , x_n^2 = x_n x_n ,$$

$$x_1 x_2 = x_1 x_2 , x_2 x_3 = x_2 x_3 , \dots , x_{n-1} x_n = x_{n-1} x_n ,$$

$$x_1^2 = x_1 x_1 , x_2^2 = x_2 x_2 , \dots , x_n^2 = x_n x_n ,$$

$$x_1 x_2 = x_1 x_2 , x_2 x_3 = x_2 x_3 , \dots , x_{n-1} x_n = x_{n-1} x_n ,$$

$$x_1 x_2 = x_1 x_2 , x_2 x_3 = x_2 x_3 , \dots , x_{n-1} x_n = x_{n-1} x_n ,$$

(١) تحليل $\sum_{i=1}^n x_i^2$ (س)

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - x_i x_{i+1} + x_i x_{i+1}) = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1} + \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - x_i x_{i+1} + x_i x_{i+1}) = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1} + \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1}$$

حيث $\sum_{i=1}^n x_i x_{i+1}$ مجموع السينات فى القسم i ، $\sum_{i=1}^n x_i^2$ عددها ، $\sum_{i=1}^n x_i^2$ عدد الأقسام .

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - x_i x_{i+1} + x_i x_{i+1}) = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1} + \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1}$$

(٢) تحليل ٢ ٢ (ص)

$$٢ = ٢ \text{ (الكل) } = \text{م.م. ص} - \frac{\text{م}}{\text{ن}} \quad \text{بدرجات حرية } ١ - ١$$

$$٢ = ٢ \text{ (بين الأقسام) } = \frac{\text{م}}{\text{ن}} - \frac{\text{م}}{\text{ن}} \quad \text{بدرجات حرية } ١ - ١$$

حيث م مجموع الصادات في القسم و ، ن عددها .

$$٢ = ٢ \text{ (داخل الأقسام) } = ٢ - ٢ \quad \text{بدرجات حرية } ١ - ١$$

(٣) تحليل ٣ ص (س ، ص)

تسير العمليات الجبرية هنا في خطوط متوازية مع العمليات الجبرية في (١) ،
(٢) كالآتي :

$$٣ = ٣ \text{ (الكل) } = \text{م.م. ص} - \frac{\text{م}}{\text{ن}} \quad \text{بدرجات حرية } ١ - ١$$

$$٣ = ٣ \text{ (بين الأقسام) } = \frac{\text{م}}{\text{ن}} - \frac{\text{م}}{\text{ن}} \quad \text{بدرجات حرية } ١ - ١$$

$$٣ = ٣ \text{ (داخل الأقسام) } = ٣ - ٣ \quad \text{بدرجات حرية } ١ - ١$$

بتطبيق هذه الصيغ على بيانات المثال (١١ - ١) نحصل على مايلي :

(١) تحليل ٢ ٢ (س) :

$$\text{لدينا } ٢ = ٦ + ١٣ + (٨-) + ٦ + (١٠-) = ٨ = ١٥$$

$$\therefore \frac{١٥}{٣٠} = \frac{٦}{١٠} = ٧,٥$$

$$٧,٥ - [٠ + {}^١(٢) + ... + {}^١(١-) + {}^٢٣] = \text{١} = {}^٢٢ \text{ (الكل)}$$

$$\text{بدرجات حرية } ٢٩ = ٢٥١,٥$$

$$+ {}^٢٦ + {}^١(٨-) + {}^١٣ + {}^٢٦] \frac{1}{0} = \text{١} = {}^٢٢ \text{ (بين الأقسام)}$$

$$٧,٥ - [{}^١٨ + {}^١(١٠-)]$$

$$\text{بدرجات حرية } ٥ = ٨٦,٣$$

$$\text{٢} = {}^٢٢ \text{ (داخل الأقسام)} = ٨٦,٣ - ٢٥١,٥ = ١٦٥,٢ \text{ بدرجات حرية } ٢٤$$

(٢) تحليل ٢٢ (ص):

$$\text{لدينا } \bar{m} = ٢٩ = ٣ + ٩ + ١ + ٦ + ١ + ٩$$

$$\bar{m} = \frac{{}^٢٩}{٣٠} = \frac{{}^٢}{٣} \therefore$$

$$[{}^١١,٣ + {}^١(٠,٧) + ... + {}^٢٢,١ + {}^١١,٧] = \text{ب} = {}^٢٢ \text{ (الكل)}$$

$$- ٢٨,٠٣$$

$$\text{بدرجات حرية } ٢٩ = ٢٨,٩٣$$

$$[{}^٢٣ + {}^٢٩ + {}^٢١ + {}^٢٦ + {}^١١ + {}^٢٩] \frac{1}{0} = \text{ب} = {}^٢٢ \text{ (بين الأقسام)}$$

$$- ٢٨,٠٣$$

$$\text{بدرجات حرية } ٥ = ١٣,٧٧$$

$$\text{٣} = {}^٢٢ \text{ (داخل الأقسام)} = ١٣,٧٧ - ٢٨,٩٣ = ١٥,١٦$$

$$\text{بدرجات حرية } ٢٤$$

(٣) تحليل ٢ ص (س ، ص) :

$$\text{لدينا } م = ١٥ ، م = ٢٩ \text{ وإذن } \frac{٢٩}{٣٠} = \frac{١٥}{٣٠} = ١٤,٥$$

$$\text{ح} = ٢ \text{ ص (الكل)} = \times ٢ + \dots + (٢,١ \times ١-) + ١,٧ \times ٣ =$$

$$١٤,٥ - [٠ + ٠,٧$$

$$٦٩,٣ - = ١٤,٥ - ٥٤,٨ - =$$

بدرجات حرية ٢٩

$$\text{ح} = ٢ \text{ ص (بين الأقسام)} = \frac{١ - [٣ \times ٨ + \dots + ١ \times ١٣ + ٩ \times ٦]}{١٤,٥ -}$$

$$٢٢,٧ - = ١٤,٥ - ٨,٢ - =$$

$$\text{ح} = ٢ \text{ ص (داخل الأقسام)} = ٦٩,٣ - (٢٢,٧ -) = ٤٦,٦ =$$

بدرجات حرية ٢٤

يحسن تسجيل هذه المجموعات الثلاث من القيم في جدول واحد كالجدول

(١١ - ٣) الآتي ليسهل الرجوع إليها .

الجدول (١١ - ٣)

تحليل مجموعي المبيعات ومجموع حواصل الضرب

مصدر التباين	درجات الحرية	٢٢ ص (س)	٢٢ ص (ص)	٢ ص (س ، ص)
بين الأقسام (القرى)	٥ = ١ -	٨٦,٣ = ١	١٣,٧٧ = ١	٢٢,٧ - = ١
داخل الأقسام (البواقي) خطأ التجريب	٢٤ = ٥ -	١٦٥,٢ = ١	١٥,١٦ = ١	٤٦,٦ - = ١
الكل	٢٩ = ١ -	٢٥١,٥ = ١	٢٨,٩٣ = ١	٦٩,٣ - = ١

الخطوة الأولى : اختبار تأثير المتغير ص على المتغير ص :

تهدف هذه الخطوة إلى اختبار وجود علاقة خطية بين المتغير الملزم ص والمتغير التابع ص ، ويتأتى هذا كما نعلم إما بتقدير معامل الانحدار الموحد β من داخل أقسام العينة ثم اختبار دلالة هذا التقدير باختبار ت ، أو بتقدير التباين المفسر (الناشئ عن الانحدار) واختبار دلالته باختبار ف بالصورة

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} \quad \text{بدرجتي حرية ١ ، ص - ك - ١ (٥)}$$

على أن تحسب المقادير اللازمة لهذا الاختبار من داخل الأقسام أى من السطر الخاص بالبواقى بالجدول (١١ - ٣) .

في المثال ، وباستخدام الصيغة (١٧) بالبند (٩ - ٧) نجد ما يلي :

$$\frac{\text{الاختلاف المفسر}}{\text{الاختلاف غير المفسر}} = \frac{[\text{ص}^2 (\text{س} ، \text{ص})]}{\text{ص}^2 (\text{س})} = \frac{\text{ح}^2}{\text{ا}}$$

$$\text{بدرجة حرية واحدة} \quad ١٣,١٤٥ = \frac{٤٦,٦}{١٦٥,٢} =$$

∴ الاختلاف غير المفسر = الاختلاف في ص - الاختلاف المفسر

$$١٣,١٤٥ - ١٥,١٦ = \frac{\text{ح}^2}{\text{ا}} - \text{ب} =$$

$$\text{بدرجات حرية ٢٣} \quad ٢,٠١٥ =$$

$$\text{إذن} \quad F = \frac{١٣,١٤٥}{٠,٠٨٧٦} = \frac{١ \div ١٣,١٤٥}{٢٣ \div ٢,٠١٥} = ١٥٠,٠٦^{**}$$

وهذه القيمة تزيد كثيرا عن القيمة الحرجة ف $[23, 17, 10, 1]$ فهي ذات دلالة عالية ونحكم بوجود علاقة خطية سالبة بين المتغير الملائم \sim والمتغير التابع \sim ، وهذا يعنى أن مقدار المحصول السابق يؤثر فيما تدفعه القرى من تكاليف لإنتاج المحصول الجديد .

ملاحظات :

(١) استخدمنا نفس الصيغ التي تستخدم في حالة وجود عينة من أزواج القيم (س ، ص) موضوعة في قسم واحد (ك = ١) لأن هذه الصيغ تظل صالحة عند وجود أكثر من قسم (ك < ١) ، بشرط تعديل درجات الحرية وفقا لذلك أى وضع ه - ك - ١ بدلا من ه - ٢ للاختلاف غير المفسر .

(٢) من الجدول (١١ - ٣) نستطيع إيجاد ثلاثة تقديرات لتباين المتغير \sim بعد التصحيح للانحدار ، غير أن التقدير الذى نحصل عليه من داخل الأقسام وهو تباين البواقي حول خط الانحدار يكون هو التقدير غير المتحيز الذى يعكس الخطأ العشوائى في هذا التحليل ، ونختبر دلالة أى تقدير آخر بالمقارنة به . ولذلك فإن حساب قيمة ف من الصيغة (٥) ينبغى أن يكون من داخل الأقسام كما سبق القول .

الخطوة الثانية : تعديل المتوسطات واختبار دلالة الفروق بينها :

كما سبق القول ، لا تتخذ هذه الخطوة إلا إذا ظهر من الخطوة السابقة وجود أثر فعلى للمتغير الملائم \sim على المتغير \sim . وترمى هذه الخطوة إلى تعديل القيم الصادية المشاهدة بحيث تكون القيم المعدلة مستقلة عن أثر المتغير \sim . ولما كان هذا التعديل من شأنه تعديل تباين القيم الصادية فإن تحليل التباين لاختبار دلالة الفروق بين المتوسطات المعدلة يكون باستخدام اختبار ف بالصيغة المعتادة مع وضع التباينات المعدلة بدلا من التباينات الأصلية ، أى باستخدام الصيغة

$$F = \frac{\text{التباين المعدل بين الأقسام}}{\text{التباين المعدل داخل الأقسام}} \quad (٦)$$

بدرجتي حرية ك - ١ ، ن - ك - ١

في المثال (١١ - ١) وجدنا أن المتغير الملازم سـ يؤثر في المتغير التابع صـ وعلى ذلك فإن دقة البحث تقتضي أن نخلص المتغير صـ من أثر المتغير سـ قبل إجراء تحليل التباين ، أى تقتضى استخدام اختبار ف بالصيغة (٦) . ولقد سبق لنا حساب التباين المعدل داخل الأقسام وهو التباين غير المفسر $2,015 \div 23 = 0,0876$ وهو كما سبق القول تقدير غير متحيز لتباين المتغير صـ بعد تعديله .

ومن الصيغة (١٩) بالبند (٩ - ٧) نذكر أن هذا التباين هو مربع الخطأ المعياري عـ للتقدير من معادلة الانحدار ، أى أن :

$$\begin{aligned} \text{عـ}^2_{\text{م.}} &= \text{التباين غير المفسر (مأخوذاً من داخل الأقسام)} \\ &= 0,0876 \text{ في هذا المثال. وبدرجات حرية } 23 \end{aligned} \quad (٧)$$

أما التباين المعدل بين الأقسام فتوجد به طريقة غير مباشرة بطرح الاختلاف المعدل داخل الأقسام من الاختلاف الكلى المعدل ثم القسمة على درجات الحرية . أى أن :

(٨) داخل الأقسام

$$(٨) \quad \left(\frac{\sum \text{حـ}^2}{\text{ب}} - \frac{(\sum \text{حـ})^2}{\text{ب}} \right) - \left(\frac{\sum \text{حـ}^2}{\text{ب}} - \frac{(\sum \text{حـ})^2}{\text{ب}} \right) =$$

وفي هذا المثال نجد أن

$$2,015 - \left(\frac{(69,3-)^2}{251,5} - 28,93 \right) = \text{الاختلاف المعدل بين الأقسام}$$

$$2,015 - (19,095 - 28,93) =$$

$$7,820 = \text{بدرجات حرية } 5$$

$$\frac{1,064}{0,0876} = \frac{5 \div 7,820}{23 \div 2,010} = \text{من الصيغة (٦) : في}$$

$$^{**} 17,85 =$$

وهذه القيمة ذات دلالة عالية لأن $F_{[23, 0], 0.1}$ لا تزيد عن ٣,٩ مما يشير إلى أن متوسط تكاليف الإنتاج - بعد استبعاد أثر مقادير المحاصيل السابقة - ليست متساوية في القرى الست . ويمكننا إذا أردنا أن نضع هذه النتائج في الجدول (١١ - ٤) الآتي .

الجدول (١١ - ٤)

اختيار ف للظاير

مصدر الاختلاف	الاختلاف المشاهد ب	الانحدار ١/٢	الاختلاف المعدل ب - ١/٢	د ح	ط ز	ف
بين الأقسام (القرى)	—	—	٧,٨٢٠	٥	١,٥٦٤	^{oo} ١٧,٨٥
داخل الأقسام	١٥,١٦	١٣,١٤٥	٢,٠١٥	٢٣	٠,٠٨٧٦	
الكل	٢٨,٩٣	١٩,٠٩٥	٩,٨٣٥	٢٨		

ملاحظة :

إذا أهملنا المتغير الملازم - وقمنا بتحليل التباين لقيم - المشاهددة دون تعديل نجد من بيانات الجدول (١١ - ٣) أن

$$\frac{2,754}{0,6317} = \frac{5 \div 13,77}{24 \div 15,16} = \frac{\text{التباين بين الأقسام}}{\text{التباين داخل الأقسام}} = \text{في}$$

$$24, 5 \text{ بدرجتي حرية } 4,36 =$$

وبالرغم من أن هذه القيمة ذات دلالة عالية أيضا لأن $F_{(24, 5), 0.01} = 3,90$ إلا أنها تقل كثيرا عن القيمة $17,85$. هذا مع تذكر أن تحليل التباين يجرى الاختلاف الكلي في ص إلى المركبتين بين وداخل الأقسام ، أما تحليل التباين فهو يجرى البواقي من التحليل الشامل للانحدار .

(١١ - ٥) المقارنة بين المتوسطات المعدلة :

بعد تحليل التباين للقيم الصادية المعدلة يبقى أن نتدارس كيفية إجراء المقارنات بين متوسطات هذه القيم في الأقسام المختلفة ، وهذا يتطلب أن نحسب هذه المتوسطات ثم نختبر دلالة الفروق بينها .

(١) حساب المتوسطات المعدلة :

من الصيغة (٢) بالبند (١١ - ٢) نجد أن المتوسط المعدل \bar{v}_i في أي قسم يساوي المتوسط المشاهد المناظر \bar{v}_i مطروحا منه أثر الانحدار الخطي . أي أن

$$\bar{v}_i = \bar{v}_i - b(\bar{v}_i - \bar{v}_i) \quad (٩)$$

حيث b معامل انحدار v على v ويحسب من داخل الأقسام بالصيغة المعتادة للانحدار الخطي البسيط كالآتي - انظر الصيغة (٨) بالبند (٩ - ٣) .

$$b = \frac{\sum (v_i - \bar{v})(v_i - \bar{v})}{\sum (v_i - \bar{v})^2} = \frac{\sum v_i^2 - \frac{(\sum v_i)^2}{n}}{\sum v_i^2 - \frac{(\sum v_i)^2}{n}} \quad (١٠)$$

$$\text{ففي المثال : } b = \frac{46,6 - \frac{2,282^2}{165,2}}{165,2}$$

من جدول البيانات (١١ - ٢) والصيغة (٩) نجد أن المتوسطات المعدلة هي :

$$\overline{ص_1} = ١,٨ + ٠,٢٨٢ (٠,٥ - ١,٢) = ١,٩٩٧٤$$

$$\overline{ص_٢} = ٠,٢ + ٠,٢٨٢ (٠,٥ - ٢,٦) = ٠,٧٩٢٢$$

$$\overline{ص_٣} = ١,٢ + ٠,٢٨٢ (٠,٥ - ١,٦) = ٠,٦٠٧٨$$

وبالمثل نجد أن $\overline{ص_٤} = ٠,٣٩٧٤$ ، $\overline{ص_٥} = ١,٠٩٥$ ، $\overline{ص_٦} = ٠,٩١٠٢$

يلاحظ أن المجموع الكلي للقيم الصادية المعدلة يساوى المجموع الكلي للقيم الصادية المشاهدة وكلاهما يساوى ٢٩ . كما يلاحظ أن بعض المتوسطات صغرت والبعض الآخر كبر ، وأن الفرق بين أى متوسطين معدلين يقل عن الفرق بين المتوسطين المشاهدين المناظرين ، مما يشير إلى أن المتغير الملازم كان له تأثير فعلى على هذه المتوسطات .

(ب) اختبار دلالة الفروق بين أزواج المتوسطات المعدلة :

يلزمنا هنا إيجاد تقدير للخطأ المعيارى σ_c للفرق بين متوسطين معدلين ، بحيث ندخل فى اعتبارنا الخطأ المعيارى $\sigma_{ص}$ للتقدير من معادلة الانحدار . والصيغة التى نشق منها الخطأ المعيارى المطلوب هى :

$$\sigma_c^2 = \sigma_{ص}^2 (١ + \frac{١}{٢} \frac{(١ - ك)}{١}) \text{ بدرجات حرية } ١ - ك - ١ (١١)$$

حيث ١ = مجموع المربعات لقيم $ص$ محسوبا من بين أقسام المعالجة
 ١ = مجموع المربعات لقيم $ص$ محسوبا من داخل أقسام المعالجة ،
 ففى المثال ، وباستخدام الجدول (١١ - ٣) نجد أن

$$\sigma_c^2 = ٠,٠٨٧٦ (١ + \frac{٥ \div ٨٦,٣}{١٦٥,٢}) = ٠,٠٩٦٧٥ \text{ بدرجات حرية } ٢٣$$

ونكون الآن مستعدين لإجراء المقارنات بين أزواج المتوسطات الصادية المعدلة باستخدام الأسلوب المبين بالبند (٨ - ٥) أو أى أسلوب مكافئ .

فمثلا للمقارنة بين المتوسطين المعدلين $\bar{ص}_1 = ١,٩٩٧٤$ ، $\bar{ص}_٢ = ٠,٧٩٢٢$ ومع ملاحظة أن مجموعى القيم الصادية فى القسمين (١) ، (٢) هما (بالضرب فى خمسة) ٩,٩٨٧ ، ٣,٩٦١ يمكن أن نستخدم الأسلوب الآتى :

$$٣٢ (١ ضد ٢) = \frac{٣,٩٦١ + ٩,٩٨٧}{٥} - \frac{١٣,٩٤٥}{١٠} = ٣,٦٢٩٣$$

$$\therefore \text{فى } ٣٧,٥١٢ = \frac{١ \div ٣,٦٢٩٣}{٠,٠٩٦٧٥} \text{ بدرجتى حرية ١ ، ٢٣ .}$$

وهذه القيمة ذات دلالة عالية مما يجعلنا نرفض الفرض الصفرى عن تساوى متوسطى التكاليف فى القريتين (١) ، (٢) .

كما يمكننا هنا استخدام اختبار ت بالصيغة

$$ت = \frac{\bar{ص}_١ - \bar{ص}_٢}{\sqrt{\frac{١}{١٠} + \frac{١}{١٠}}} \text{ ع}$$

بدرجات حرية ٢٣

فنجد أن $ت = ٦,١٢٧$ وهى أيضا ذات دلالة عالية ، مع ملاحظة أن مربع هذه القيمة وهو ٣٧,٥٤ يساوى قيمة $ف = ٣٧,٥١٢$ والفرق يرجع إلى أخطاء التقريب .

تمرين (١١ - ١)

فى جزء من تجربة عن تأثير نوعين من الأدوية فى علاج مرض الجذام كان الهدف مقارنة ثلاثة أنواع من المعالجة : د ، د١ دواعان من صنف المضادات الحيوية ،

دواء داخلي يتخذ كمراقبة . اختبر عشرة مرضى للتجريب وحددت على كل منهم ٦ مواقع من الجسم يتراكم فيها ميكروب الجذام وقيست غزارة الجذام باختبارات معملية في هذه المواقع قبل بداية التجربة (س) ثم بعد عدة شهور من العلاج (ص) ودونت النتائج في الجدول الآتي .

الجدول (١١ - ٥)

المرضى	الدواء					
	س _١	ص _١	س _٢	ص _٢	س _٣	ص _٣
(١)	١١	٦	٦	٠	١٦	١٣
(٢)	٨	٠	٦	٢	١٣	١٠
(٣)	٥	٢	٧	٣	١١	١٨
(٤)	١٤	٨	٨	١	٩	٥
(٥)	١٩	١١	١٨	١٨	٢١	٢٣
(٦)	٦	٤	٨	٤	١٦	١٢
(٧)	١٠	١٣	١٩	١٤	١٢	٥
(٨)	٦	١	٨	٩	١٢	١٦
(٩)	١١	٨	٥	١	٧	١
(١٠)	٣	٠	١٥	٩	١٢	٢٠
المجموع	٩٣	٥٣	١٠٠	٦١	١٢٩	١٢٣
المتوسطات	٩,٣	٥,٣	١٠	٦,١	١٢,٩	١٢,٣

أجر تحليل التباين لاختبار دلالة الفروق بين متوسطات غزارة الجذام في المستويات الثلاثة للمعالجة ، بعد استبعاد أثر الاختلاف في غزارة المرض قبل بدء المعالجة .

(١١ - ٦) تحليل التغيرات في التجارب ذوات العاملين ومتغير ملازم واحد :
 النموذج الإحصائي هنا هو امتداد طبيعي للنموذج الإحصائي (٣) للتجارب
 ذوات العامل الواحد ، وهو يأخذ الصيغة الآتية :

$$ص_{س} = \mu_{س} + \mu_{ل} + \beta(س - \bar{س}) + \chi_{س} \quad (١٢)$$

ويسير التحليل بنفس الأسلوب مع بعض الإضافات والتعديلات التي يقتضيها
 وجود عامل تجريبي ثان .

مثال (١١ - ٢) :

في تجربة لمقارنة مقادير المحاصيل الناتجة من ٦ أنواع من الذرة أخذت عينة
 عشوائية من ٢٤ حوضاً زراعياً وزرعت عليها أنواع الذرة عشوائياً - أربعة أحواض
 لكل نوع - وقد نتجت البيانات المدونة بالجدول (١١ - ٦) الآتي حيث ص
 تعبر عن مقدار المحصول الناتج من الحوض ، س تعبر عن درجة خصوبة الحوض
 مقدرة بعدد النباتات التي كانت قائمة به . إن مقدار المحصول يكون واقعا تحت
 تأثير عاملين تجريبيين هما : الأحواض (٤ مستويات) وأنواع الذرة
 (٦ مستويات) ، غير أن المطلوب هنا اختبار ما إذا كان معدل المحصول يختلف
 باختلاف نوع الذرة (بعد استبعاد أثر الخصوبة) .

الحسابات التمهيدية :

نقوم بتحليل كل من ٢٢ (س) ، ٢٢ (ص) ، ٢ ص (س ، ص) إلى ثلاث
 مركبات : بين الأعمدة وبين الصفوف والخطأ . أى أن هناك خطوة إضافية واحدة
 في كل تحليل .

الجدول (١١ - ٦)

أنواع الذرة	الأحواض				المجموع س س	المتوسطات س س
	(١) س. ص.	(٢) س. ص.	(٣) س. ص.	(٤) س. ص.		
أ	٢٠٢ ٢٨	١٦٥ ٢٢	١٩١ ٢٧	١٣٤ ١٩	٦٩٢ ٩٦	١٧٣ ٢٤
ب	١٤٥ ٢٣	٢٠١ ٢٦	٢٠٣ ٢٨	١٨٠ ٢٤	٧٢٩ ١٠١	١٨٢,٢٥ ٢٥,٥
ج	١٨٨ ٢٧	١٨٥ ٢٤	١٨٥ ٢٧	٢٢٠ ٢٨	٧٨٨ ١٠٦	١٩٤,٥ ٢٦,٥
د	٢١٠ ٢٤	٢٢١ ٢٨	٢٣٨ ٣٠	٢٦١ ٣٠	٩٣١ ١١٢	٢٣٢,٧٥ ٢٨
هـ	٢٠٢ ٣٠	١٧٨ ٢٦	١٩٨ ٢٦	٢٢٦ ٢٩	٨٠٤ ١١١	٢٠١ ٢٧,٧٥
ز	٢٢٨ ٣٠	٢٢١ ٢٥	٢٠٧ ٢٧	٢٠٤ ٢٤	٨٦٠ ١٠٦	٢١٥ ٢٦,٥
المجموع	١١٦٦ ١٦٢	١١٨١ ١٥١	١٢٢٢ ١٦٥	١٢٢٥ ١٥٤	٤٧٩٤ ٦٣٢	١٩٩,٧٥ ٢٦,٣٣

مح س = ١٦٨٢٤ ، مح مح ص = ٩٧٦٢٨٠ ، مح مح س س = ١٦٧٧٢٧

تحليل ٢ ٢ (س) :

$$١ = ٢ ٢ (الكلي) = مح مح س - \frac{٢}{٥}$$

$$= ١٦٨٢٤ - \frac{٦٣٢}{٢٤} = ١٨١,٣٣٤ \text{ بدرجات حرية } ١ - ٥ = ٢٣$$

$$١ = ٢ ٢ (بين الأعمدة) = \frac{١}{٤} (١٦٢ + ١٥١ + ١٦٥ + ١٥٤) - \frac{٦٣٢}{٢٤}$$

$$= ٢١,٦٦٧ \text{ بدرجات حرية } ٤ - ١ = ٣$$

$$\frac{1}{24} = \frac{1}{4} (106 + \dots + 101 + 96) - \frac{1}{24} = 1$$

$$5 = 1 - \text{درجات حرية ه} = 45,834 =$$

$$\therefore 1 = 22 = (\text{الخطأ}) = 181,334 - (45,834 + 21,667)$$

$$10 = (1 - \text{ه}) (1 - \text{ك}) = \text{درجات حرية (ك - ه)} = 113,833 =$$

وبنفس الطريقة نحلل كلا من ٢٢ (ص) و ٢٣ (س ، ص) ونضع النتائج في الجدول الآتي حيث ك ترمز إلى عدد الأعمدة ، ه ترمز إلى عدد الصفوف .

الجدول (١٩ - ٧)

تحليل مجموعي المربعات ومجموع حواصل الضرب

مصدر التباين	درجات الحرية	٢٢ (س)	٢٢ (ص)	٢٣ (س ، ص)
بين الأعمدة (الأحواض)	ك - ١ = ٣	٢١,٦٧ = ١	٤٣٦,١٧ = ١	٨,٥٠ = ١
بين الصفوف (أنواع)	ه - ١ = ٥	٤٥,٨٣ = ١	٩٤٩٠,٠٠ = ١	٥٥٩,٢٥ = ١
خطأ التجريب	(١ - ه) (١ - ك) = ١٥	١١٣,٨٣ = ١	٨٧٥٢,٣٣ = ١	٩١٧,٢٥ = ١
أنواع + خطأ	٢٠	١٥٩,٦٦	١٨٢٤٢,٣٣	١٤٧٦,٥
الكل	٢٣ = ١ - ج	١٨١,٣٣ = ١	١٨٦٧٨,٥٠ = ١	١٤٨٥,٠٠ = ١

وستبين أهمية السطر الإضافي (أنواع + خطأ) عند تكوين النسبة ف لاختبار المتوسطات المعدلة .

الخطوة الأولى : اختبار تأثير المتغير اللازم μ على المتغير ν :

أى اختبار وجود علاقة خطية بين المتغيرين μ ، ν ويتأتى هذا عن طريق الصيغة (٥) لاختبار ف مع ملاحظة درجات الحرية .

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} \quad \text{بدرجتي حرية ١ ، } \nu - \text{ك} - \text{هـ} \quad (١٣)$$

على أن يحسب البسط والمقام من السطر الخاص بخطأ التجريب . في المثال نجد ما يأتى :

$$7391,2638 = \frac{2917,25}{113,83} = \frac{2}{1} = \text{الاختلاف المفسر}$$

بدرجة حرية واحدة

$$\therefore \text{الاختلاف غير المفسر} = \frac{2}{1} - \nu = 2917,25 - 8752,33 = 7391,2638$$

$$= 1361,0662 \quad \text{بدرجات حرية ١٤}$$

$$\therefore \text{في} = \frac{7391,2638}{97,2190} = \frac{1 \div 7391,2638}{14 \div 1361,0662}$$

$$= 76,027^{**} \quad \text{بدرجتي حرية ١ ، ١٤}$$

وهذه القيمة ذات دلالة عالية مما يدل على وجود تأثير كبير لخصوبة الأرض على معدل المحصول . ولذلك ينبغي استبعاد هذا الأثر قبل مقارنة متوسطات المحاصيل تحت تأثير أنواع الذرة .

الخطوة الثانية : اختبار دلالة الفروق بين المتوسطات المعدلة :

نستخدم الصيغة (٦) لاختبار ف مع ملاحظة درجات الحرية .

$$F = \frac{\text{التباين المعدل (بين الأنواع)}}{\text{التباين المعدل للخطأ}} \text{ بدرجة حرية ك-١ ، د-هـ (١٤)}$$

ولقد سبق أن حسبنا في الخطوة الأولى التباين المعدل للخطأ فهو التباين غير المفسر

$$97,219 = 14 \div 1361,0662$$

أما التباين المعدل بين الأنواع فيحسب كالآتي :

التباين المعدل بين الأنواع = [الاختلاف المعدل (أنواع + خطأ) - الاختلاف

المعدل للخطأ] مقسوما على درجات الحرية (١٥)

من السطر الإضافي بالجدول (١١ - ٧) نجد ما يلي

$$\frac{1476,0}{109,66} - 18242,33 = (\text{أنواع} + \text{خطأ}) \text{ الاختلاف المعدل}$$

$$4587,989 = \text{بدرجات حرية ١٩}$$

$$1361,0662 = \text{ولكن الاختلاف المعدل للخطأ بدرجات حرية ١٤}$$

$$1361,0662 - 4587,989 = \therefore \text{الاختلاف المعدل بين الأنواع}$$

$$3226,9228 = \text{بدرجات حرية ٥}$$

$$645,385 = 5 \div 3226,9228 = \therefore \text{التباين المعدل بين الأنواع}$$

من الصيغة (١٤) ينتج أن :

$$F = \frac{645,385}{97,219} = 6,638 \text{ بدرجة حرية ٥ ، ١٤}$$

وهذه القيمة ذات دلالة عالية لأنها أكبر من ٠,٠١ [١٤,٥] التى لا تزيد عن ٥,٠٦ مما يشير إلى أن متوسطات المحاصيل (بعد استبعاد أثر الخصوبة) ليست جميعها متساوية عند الأنواع المختلفة من الذرة .

ملاحظة :

يمكن بنفس الطريقة اختبار ما إذا كان معدل المحصول يختلف باختلاف الأحواض (الأعمدة) .

(١١ - ٧) المقارنة بين أزواج المتوسطات المعدلة :

نستخدم نفس الأسلوب المقدم بالبند (١١ - ٥ - ب) ، فتحسب المتوسطات المعدلة من الصيغة (٩) وهى :

$$\overline{ص_i} = \overline{ص_i} - ب (\overline{س_j} - \overline{س})$$

$$٨,٠٥٨٨ = \frac{٩١٧,٢٥}{١١٣,٨٢} = \frac{٢}{١} = \frac{٢ (ص, س)}{(س) ٢} = \text{حيث معامل الانحدار ب}$$

ومن هذه القيمة نتوصل إلى المتوسطات المعدلة الآتية :

$$\overline{ص_1} = ١٩١,٨ ، \overline{ص_2} = ١٩١,٠ ، \overline{ص_3} = ١٩٣,١$$

$$\overline{ص_4} = ٢١٩,٣ ، \overline{ص_5} = ١٨٩,٦ ، \overline{ص_6} = ٢١٣,٦$$

أما الخطأ المعياري ع للفرق بين متوسطين معدلين فيحسب من الصيغة

$$ع' = ع'' + ١ \left[\frac{(١ - ه) \div ١}{٢} \right] \text{ بـ درجات حرية ه - ك - ه (١٦)}$$

حيث أ' = مجموع المربعات لقيم س محسوبا من بين الأنواع

١ ، = مجموع المربعات لقيم س محسوبا من خطأ التجريب .

$$ع = ٩٧,٢١٩ + (١ + \frac{٥ \div ٤٥,٨٣}{١١٣,٨٣})$$

بدرجات حرية ١٤

$$= ١٠٥,٠٤٨$$

وبهذه القيمة نكون قادرين على مقارنة ما نريد من أزواج المتوسطات الصادية المعدلة كالمعتاد .

يتمدد تحليل التباين إلى المواقف الأكثر تعقيدا . وكمثال لذلك التجارب ذوات العامل الواحد التي تشتمل على متغيرين ملازمين $س_١$ ، $س_٢$ يرتبطان خطيا بالمتغير الرئيسي $ص$ ، حيث يأخذ النموذج الإحصائي الشكل الآتي :

$$ص_{س_١} = \beta_١ (س_١ - \bar{س}_١) + \beta_٢ (س_٢ - \bar{س}_٢) + \text{خبر}$$

ويحتاج الأمر هنا إلى تحليل الانحدار المتعدد قبل القيام بتحليل التباين .

تكوين (١١ - ٢)

بالجدول الآتي مقادير المحاصيل (ص) لنبات فول الصويا في الفدان ونسبة الإصابة (س) لساق النبات بمرض معين . استخدمت أربعة خطوط ا ، ب ، ح ، د للمقارنة وزرع بكل منها ٤ نباتات . المطلوب (١) توضيح أن هناك علاقة خطية سالبة بين الإصابة بالمرض ومقدار المحصول (٢) توضيح أن معدل المحاصيل يختلف من خط إلى آخر بعد استبعاد أثر الإصابة (٣) إيجاد المتوسطات المعدلة للمحاصيل والمقارنة بين كل زوج منها (٤) توضيح أنه إذا لم يُستبعد أثر الإصابة فإن معدل المحاصيل لا يختلف من خط إلى آخر .

الجدول (١١ - ٨)

القطاعات	الخطوط				الجماليات س ص
	أ س _١ ص _١	ب س _٢ ص _٢	ح س _٣ ص _٣	د س _٤ ص _٤	
(١)	٢١,٣ ١٩,٣	٢٨,٣ ١٠,١	٢٦,٧ ٤,٣	٢٥,١ ١٤,٠	١٠١,٤ ٤٧,٧
(٢)	١٩,٧ ٢٩,٢	٢٠,٧ ٣٤,٧	١٤,٧ ٤٨,٢	٢٠,١ ٣٠,٢	٧٥,٢ ١٤٢,٣
(٣)	٢٨,٧ ١,٠	٢٦,٠ ١٤,٠	٢٩,٠ ٦,٣	٢٤,٩ ٧,٢	١٠٨,٦ ٢٨,٥
(٤)	٢٧,٣ ٦,٤	٣٤,١ ٥,٦	٢٩,٠ ٦,٧	٢٩,٨ ٨,٩	١٢٠,٢ ٢٧,٥
الجماليات	٩٧,٠ ٥٥,٩	١٠٩,١ ٦٤,٤	٩٩,٤ ٦٥,٥	٩٩,٩ ٦٠,٣	٤٠٥,٤ ٢٤٦,١

ع ع س = ٦٤٦٥,٩٢٥٦ ، ع ع ص = ١٠٦٣١,٩٢٢ ، ع ع س ص = ٥٣٥٢,٠٥٨٧

الفصل الثاني عشر

الانحدار والارتباط الخطي المتعدد

MULTIPLE LINEAR REGRESSION AND CORRELATION

سنعتمد في هذا الفصل على الحاسب الإلكتروني في إجراء الحسابات اللازمة لحل مشكلات الانحدار والارتباط تخففا من الأعباء الحسابية الضخمة التي يتطلبها التحليل . إلا أن هذا لا يعفينا بل يوجب علينا الإحاطة بالأسس والافتراضات والمفاهيم التي يبنى عليها التحليل تحسبا من أخطاء ومزالق التطبيق .

أولا : الانحدار الخطي المتعدد

(١٢ - ١) الانحدار الخطي المتعدد كامتداد للانحدار الخطي البسيط :

في تناولنا للانحدار الخطي البسيط في الفصل التاسع من هذا الكتاب افترضنا أن لدينا متغير عشوائي y - رعب في التنبؤ بقيمه عن صديق قيم متغير غير عشوائي x على أساس أن العلاقة بين هذين المتغيرين هي علاقة خطية :

$$y = \alpha + \beta x + \epsilon$$

وعلى أساس أنه عند أي قيمة ثابتة x يكون للمتغير y توزيع معتدل متوسطه $\alpha + \beta x$ ويتوقف على قيمة x ، وتبينه عدد ثابت σ^2 ، يتوقف على x .

إلا أنه في كثير من التطبيقات يرى الباحث أن استخدام متغير واحد β لا يصلح للتنبؤ بقيم المتغير β بدقة كافية ، ويأمل أن يحصل على تنبؤات أكثر دقة إذا استخدم عدة متغيرات $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ ، β يشعر بخبرته في ميدان عمله أن لها دورا في عملية التنبؤ . وإذا تبيننا افتراضات مماثلة لتلك التي تبينناها في الانحدار الخطي البسيط من أن هذه المتغيرات غير عشوائية وترتبط بالمتغير العشوائي β بعلاقة خطية :

$$(1) \quad \beta = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

حيث $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ بارامترات مجهولة ، ومن أنه عند أي مجموعة ثابتة x_1, x_2, \dots, x_p ، β يكون للمتغير β توزيع معتدل ذو تباين ثابت σ^2 ، فإن الانحدار يسمى في هذه الحال بالانحدار الخطي المتعدد أو اختصارا بالانحدار الخطي كما تسمى البارامترات $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ بمعاملات الانحدار الجزئية partial regression coefficients ، وتكون دراسة هذا الانحدار مجرد تعميم للمفاهيم والأساليب والصيغ والاختبارات المستخدمة في الانحدار الخطي البسيط ولا تختلف عنها إلا في درجة المشقة في تناول البيانات ، كما تختلف بطبيعة الحال في درجات الحرية التي تعتمد على عدد الثوابت في معادلة الانحدار التي تقدر من العينة . وإذا كان القارئ قد اطمأن لمعرفته بأسس وأساليب الانحدار الخطي البسيط فسوف لا يجد صعوبة تذكر في تناول الانحدار الخطي المتعدد كما يتبين من الفقرات الآتية .

(1) إيجاد معادلة الانحدار :

في الانحدار الخطي البسيط نقوم بتجربة نحصل منها على عينة من n من المشاهدات (β, x ، β) تأخذ الشكل الآتي :

$$\begin{array}{cccc} s_1 & s_2 & \dots & s_n \\ v_1 & v_2 & \dots & v_n \end{array}$$

وتستخدم هذه البيانات في تقدير البارامترين المجهولين α ، β بقيمتين α ، β ب توطئة لكتابة معادلة الانحدار :

$$\hat{v}_i = \alpha + \beta s_i$$

التي تمثل « أحسن خط » يلائم تلك المشاهدات من وجهة نظر مبدأ المربعات الصغرى ، الذى يستلزم كما نعلم تحديد القيمتين α ، β اللتين تجعلان الدالة :

$$Q = \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (v_i - \alpha - \beta s_i)^2$$

نهاية صغرى . وتحقيق هذا الفرض يستلزم بدوره إجراء عملية التفاضل الجزئى بالنسبة إلى كل من α ، β ومساواة كل من الناتجين بالصفر للحصول على معادلتين خطيتين فى هذين المجهولين تسميان بالمعادلتين المعتادتين وهما :

$$\sum_{i=1}^n v_i = \alpha n + \beta \sum_{i=1}^n s_i$$

$$\sum_{i=1}^n v_i s_i = \alpha \sum_{i=1}^n s_i + \beta \sum_{i=1}^n s_i^2$$

وحل هاتين المعادلتين معا يعطينا القيمتين α ، β المطلوبتين .

وهذه الخطوات هى بذاتها الخطوات التى تتخذ عند تناول الانحدار الخطى المتعدد . إذ نقوم بتجربة نحصل منها على عينة من n من المشاهدات (s_i, v_i) ، $s_i = 1, 2, \dots, n$ ، حيث $v_i = 1, 2, \dots, n$ ، n تأخذ الشكل المبين بالجدول (١٢ - ١) الآتى :

الجدول (١٢ - ١)

بيانات الانحدار الخطي المتعدد

الملاحظات	ص	س _١	س _٢	....	س _ك
(١)	ص _١	س _{١١}	س _{٢١}	...	س _{ك١}
(٢)	ص _٢	س _{١٢}	س _{٢٢}	...	س _{ك٢}
...
(٣)	ص _٣	س _{١٣}	س _{٢٣}	...	س _{ك٣}
...
(ن)	ص _ن	س _{١ن}	س _{٢ن}	...	س _{كن}

ولتقدير البارامترات المجهولة α ، β_1 ، β_2 ، ... ، β_k من هذه البيانات نستخدم مبدأ المربعات الصغرى لإيجاد القيم a ، b_1 ، b_2 ، ... ، b_k توطئة لكتابة معادلة الانحدار :

$$\hat{y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (٢)$$

تحقيق هذا الهدف يتم من خلال إيجاد القيم a ، b_1 ، b_2 ، ... ، b_k بحيث تكون الدالة $y - \hat{y} = y - (a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k)$ = $y - a - b_1 x_1 - b_2 x_2 - \dots - b_k x_k$ = e .

من أجل إيجاد هذه القيم a ، b_1 ، b_2 ، ... ، b_k نقوم بإجراء عملية التفاضل الجزئي بالنسبة إلى a ، b_1 ، b_2 ، ... ، b_k ونضع كل واحد من هذه التفاضلات يساوي صفرًا .
 في هذه الحالة نحصل على n معادلات خطية في n مجهولات a ، b_1 ، b_2 ، ... ، b_k .
 هذه المعادلات الخطية في n مجهولات نسميها بمعادلات الانحدار .
 هذه المعادلات مع بعضنا التفاضلات الجزئية $\frac{\partial y}{\partial a}$ ، $\frac{\partial y}{\partial b_1}$ ، $\frac{\partial y}{\partial b_2}$ ، ... ، $\frac{\partial y}{\partial b_k}$ = ٠ .

ولنا أن تصور هنا مدى المشقة التي نلقاها في حساب المجاميع ومجاميع المربعات ومجاميع حواصل الضرب المطلوبة لوضعها في هذه المعادلات ثم حل المعادلات ذاتها ، خاصة إذا كان عدد المتغيرات السينية أكبر من اثنين . وحتى في حالة وجود متغيرين s_1, s_2 ، حيث نستهدف الوصول إلى معادلة الانحدار

$$ص = 1 + s_1 + s_2 + s_1 s_2$$

يكون علينا حل المعادلات المعتادة الآتية :

$$ص = \alpha + \beta s_1 + \gamma s_2 + \delta s_1 s_2$$

$$ص = \alpha + \beta s_1 + \gamma s_2 + \delta s_1 s_2 \quad (3)$$

$$ص = \alpha + \beta s_1 + \gamma s_2 + \delta s_1 s_2$$

وهذا الحل يحتاج أولاً إلى حساب ثمانية مجاميع هي $ص, ص s_1, ص s_2, ص s_1 s_2, ص^2, ص^2 s_1, ص^2 s_2, ص^2 s_1 s_2$ ، كثير من الجهد والوقت . ولذلك نلجأ إلى الحاسب الالكتروني ليقوم عنا بكل هذه العمليات ويعطينا التقديرات المطلوبة بكل سرعة ودقة .

(ب) إيجاد الخطأ المعياري لتقدير $ص$ من خط الانحدار :

في الانحدار الخطي البسيط استخدمنا مقياس r^2 أي أهمية النسبة في عمود الاستنتاج الإحصائي هو حصص المعايير للتقدير الذي يؤخذ به r^2 ، $r^2 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma^2}$ ، r^2 بأنه الاحراف المعايير يتم معيارية استخدام r^2 ، r^2 يتم من معادلة الانحدار أي $r^2 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma^2}$.

$$r^2 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma^2}$$

وحين حللنا الاختلاف الكلى فى القيم الصادية وهو ϵ (ص - ص') إلى مركبتين تعبر الأولى وهى ϵ (ص' - ص) عن الاختلاف الناشئ عن الانحدار (الاختلاف المفسر) وتعبر الثانية وهى ϵ (ص - ص') عن الاختلاف المتبقى الناشئ عن الانحراف عن خط الانحدار (الاختلاف غير المفسر) أمكننا كتابة مربع الخطأ المعيارى للتقدير كالتالى :

$$\epsilon^2_{\text{م.م.}} = \frac{1}{n-2} \epsilon^2 (\text{ص} - \text{ص}') = \frac{1}{n-2} \times \text{الاختلاف غير المفسر}$$

بنفس المنطق نستخدم نفس التعريف فى حالة الانحدار الخطى المتعدد مع مراعاة درجات الحرية ، فنرمز للخطأ المعيارى لتقدير ص من خط الانحدار بالرمز

$\epsilon^2_{\text{م.م.}} \text{ م.م. ... م.م.}$ حيث :

$$(4) \quad \epsilon^2_{\text{م.م.}} \text{ م.م. ... م.م.} = \frac{1}{n - (k + 1)} \times \text{الاختلاف غير المفسر}$$

حيث n حجم العينة ، k عدد المتغيرات السينية ومع ملاحظة أن $k + 1$ هو عدد الثوابت فى معادلة الانحدار التى تقدر من العينة .

ملاحظة (١) :

ليس من المناسب هنا تقديم الصيغة العامة للخطأ المعيارى للتقدير ويكفيها أن نفهم المعنى الذى يتضمنه ، أما حساب قيمته فتركه للحاسب الالكترونى . إلا أنه حين يكون هناك متغيران تنبؤيان اثنان فقط ($k = 2$) فيمكن إثبات أن

$$\epsilon^2_{\text{م.م.}} \text{ م.م. ... م.م.} = \frac{1}{n-3} (\text{م.ص}^2 - \text{م.ص} - \text{م.ص} - \text{م.ص} - \text{م.ص} - \text{م.ص} - \text{م.ص})$$

وهذه الصيغة هي امتداد للصيغة (١٠) بالبند (٩ - ٤) التى تتناول الحالة التى يكون لدينا فيها متغير تنبؤى واحد .

هذا مع ملاحظة أن الصيغة العامة للخطأ المعيارى تكتب بأسلوب رياضى يتطلب معرفته دراسة مسبقة لموضوع المصفوفات ، والواقع أن الدراسة النظامية للانحدار المتعدد تعتمد برمتها على هذا الأسلوب غير أننا فى التطبيق العملى لا نحتاج إليه .

(ج) اختبار دلالة الانحدار ككل :

فى الانحدار الخطى البسيط اهتمامنا باختبار دلالة الانحدار أى باختبار وجود علاقة خطية بين المتغير التابع y والمتغير المستقل x وهذا يكافئ اختبار الفرض الصفرى $\beta = 0$ ضد الفرض $\beta \neq 0$. واستخدمنا لهذا الغرض اختبار t بالصيغة (١١) بالبند (٩ - ٥ - أولاً) مع وضع $\beta = 0$. أو اختبار F بالصيغة (٢١) بالبند (٩ - ٧) أو بالصيغة المكافئة (٢٤) ، بشرط توفر شروط الانحدار .

كذلك يهمنا فى حالة الانحدار الخطى المتعدد اختبار وجود علاقة خطية بين المتغير التابع y والمتغيرات المستقلة x_1, x_2, \dots, x_k ، وهذا الاختبار يكافئ اختبار الفرض الصفرى $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ وفى هذه الحالة نستخدم أى من الصيغتين (٢١) أو (٢٤) المذكورتين مع مراعاة استخدام درجات الحرية المناسبة . وهاتان الصيغتان هما :

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} \quad \text{بدرجتي حرية ك ، ن - ك - ١} \quad (٦)$$

$$\text{أو } F = \frac{r^2 \div ك}{(1 - r^2) \div (ن - ك - ١)} \quad \text{بدرجتي حرية ك ، ن - ك - ١} \quad (٧)$$

حيث n حجم العينة ، k عدد المتغيرات السينية ، m^2 هو معامل التحديد الذى يعبر كالمعادن عن نسبة الاختلاف فى المتغير y التى يفسرها خط الانحدار وسترمز له هنا بالرمز m^2 (ع...٢١) حيث

$$m^2 = \frac{\text{الاختلاف المفسر}}{\text{الاختلاف الكلى}} \quad (٨) \quad m^2 \text{ (ع...٢١)}$$

(د) اختبار دلالة معاملات الانحدار الجزئية :

فى الانحدار الخطى البسيط يكون لدينا معامل انحدار واحد β ، ويمكن أن نختبر ما إذا كان هذا المعامل يأخذ قيمة ما نفترضها بواسطة الإحصاءة (١١) المقدمة بالبند (٩ - ٥ - أولاً) وهى

$$t = \frac{\beta - B}{\frac{E}{\sqrt{m^2(٢٢)}}} = \frac{\beta - B}{E(ب)} \quad (٩)$$

التي يكون لها توزيع t بدرجات حرية $n - ٢$ بشرط تحقق افتراضات الانحدار .
ويلاحظ أن مقام هذا الكسر وهو $E(ب) = \frac{E}{\sqrt{m^2(٢٢)}}$ هو تقدير للانحراف المعياري للمتغير العشوائى B الذى تعتبر B إحدى قيمه المشاهدة -
وحيث B تقدير معامل الانحدار β انذى نجده من العينة . والمتغير B هو متغير معتدل وسطه الحسبان β وانحرافه انحرافى $\sigma(ب)$ يقدر من العينة بالتقدير
ع - ١٠

اما فى الانحدار الخطى المتعدد فنجد ان k من معاملات الانحدار $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ (بالإضافة إلى البارامتر α) ويمكن أن نختبر ما إذا كانت هذه المعاملات تأخذ قيم معينة . وينطبق المنطق السائد ٩١ - ١٥ بقدر ان القيمة β

(١ = ٢ ، ... ، ك) التى نحصل عليها من عينة لتقدير البارامتر β_j ، هى إحدى القيم المشاهدة من متغير عشوائى B_j ذى توزيع معتدل متوسطه β_j وانحرافه المعياري σ_j (ب) نقدره بقيمة سنرمز لها بالرمز ε_j (ب) وبالتالي يكون للإحصاءة

$$T_j = \frac{\beta_j - B_j}{\varepsilon_j} \quad \text{ع (ب)} \quad \text{١ = ٢ ، ... ، ك} \quad (١٠)$$

توزيع ت بدرجات حرية $n - (ك + ١)$ بشرط تحقق افتراضات الانحدار . وهذه الإحصاءة تصلح لاختبار أن يأخذ أى معامل β_j أى قيمة نفترضها ، وبصفة خاصة لاختبار الفرض $\beta_j = ٠$. لأهمية ذلك فى بحث مدى مساهمة المتغير المناظر X_j فى التنبؤ من معادلة الانحدار .

ملاحظة (٢) :

ليس من المناسب هنا أيضا تقديم الصيغة العامة التى نوجد منها التقدير ε_j (ب) للانحراف المعياري للمتغير B_j وسنعمد فى ذلك أيضا على الحاسب الالكترونى ويكفينا أن نحيط بالدور الذى يقوم به . إلا أنه حين يكون هناك متغيران تنبؤيان اثنان فقط (ك = ٢) فيمكن إثبات أن هذا التقدير يحسب من الصيغة الآتية :

$$\varepsilon_j \text{ (ب)} = \frac{\varepsilon_j}{\sqrt{(1 - r_{11}^2) \cdot (n - 3)}} \quad \text{ع (ب)} \quad \text{١ = ٢ ، ... ، ك} \quad (١١)$$

$$\text{حيث } \varepsilon_j^2 \text{ من } \varepsilon_j^2 = \frac{1}{n - 3} \times \text{الاختلاف غير المفسر}$$

هو مربع الخطأ المعياري للتقدير ويمكن حسابه من الصيغة (٥) ، وحيث r_{11}^2 هو معامل التحديد للمتغيرين X_1 ، X_2 ويمكن حسابه من الصيغة :

$$\frac{[\sum_{i=1}^n (S_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n S_i)^2}{n})]}{(n-1)} = s^2 \quad (١٢)$$

كما أن s^2 هو مجموع المربعات للمتغير S ، s^2 هو مجموع المربعات للمتغير S .

(١٢ - ٢) استخدام الحاسب الالىكترونى :

يتضح من البند السابق أن حل المشكلات العملية فى تحليل الانحدار يتطلب القيام بعمليات حسابية طويلة سواء فى إيجاد الجاميع أو حل المعادلات أو فى استخراج تقديرات للأخطاء المعيارية أو فى استخراج قيم t أو قيم F اللازمة للاستنتاج الإحصائى ، مما يستغرق جهدا شاقا ووقتا طويلا ، إضافة إلى صعوبة تلافى أخطاء هذه الحسابات إذا أجريت يدويا . ولذلك فإن معظم المشكلات التطبيقية تستعين بالحاسبات الالىكترونية التى تنوب عنا فى استخراج ما نريد بكل سرعة ودقة وترك لنا فقط مهمة تفسير النتائج واتخاذ القرارات بناء على ما قدمته من معلومات .

واستخدام هذه الحاسبات لا يستلزم أن يكون الباحث قادرا على تشغيلها بنفسه بل يكفيه أن يتصل بأحد مراكز الحاسبات وتقديم مصفوفة البيانات التى حصل عليها من التجربة مع تحديد مجموعة الأعداد التى تخص كلا من المتغير الصادى والمتغيرات السينية ، وتحديد ما يريد إيجاده من معلومات .

وهناك كثير من الحاسبات تحتزن برامج إحصائية تقوم بكافة أنواع التحليل ، ومن هذه البرامج ما يلى :

STATPACK, MINITAB, COSAP AND SPSS

ومثل هذه البرامج من شأنها توفير الجهد والوقت مع ضمان الدقة والأمان ولذلك يعتمد هذا الفصل فى حساباته وتحليلاته على الحاسبات الالىكترونية التى أصبحت

اليوم في تناول الجميع . وسنوضح ذلك بالمثال الآتي الذي يتناول حالة متغيرين
 تنبؤين \hat{y}_1 ، \hat{y}_2 . على أن الأسلوب المستخدم يمتد إلى الحالات التي تتناول
 أكثر من متغيرين دون أى تعديل .

مثال (١٢ - ١) :

أرادت إحدى الشركات التجارية الكبيرة أن تعد طريقة للتنبؤ بعدد الوحدات
 التي تباع في الشهر في أى فرع من فروعها العشرة ، على افتراض أن الوحدات
 المباعة في أى فرع تتأثر بعاملين هما (١) عدد البائعين في الفرع ، (٢) مقدار
 ما يصرفه الفرع شهريا على الإعلان . وتحقيقا لهذا الغرض جمعت بيانات من
 الفروع ودونت في الجدول (١٢ - ٣) الآتي .

الجدول (١٢ - ٣)

الفرع	عدد الوحدات المباعة ص	عدد العاملين س	تكاليف الاعلان س
(١)	٢٥	٥	١٠
(٢)	٢٠	٢	١١
(٣)	٣٠	٦	١٢
(٤)	٢٥	٤	١٣
(٥)	٢٥	٣	١٤
(٦)	٣٢	٦	١٥
(٧)	٢٥	٤	١٢
(٨)	٢١	٣	١١
(٩)	٢٠	٢	١٠
(١٠)	٢٧	٥	١٢

المطلوب إيجاد معادلة الانحدار الخطي للمتغير ص على المتغيرين س_١ ، س_٢ واختبار دلالة الانحدار ككل ودلالة كل من معاملي الانحدار .

الحل :

للتوضيح سنقوم بحل هذه المسألة مرتين : باستخدام الحاسب ثم بدونه .

(أولا) الحل باستخدام الحاسب :

أدخلت البيانات المدونة بالجدول (١٢ - ٣) في حاسب الكتروني فأخرج المعلومات المدونة بالجدول (١٢ - ٤) الآتي ، مع ملاحظة أن عدد المتغيرات التنبؤية ك = ٢ وأن حجم العينة ن = ١٠ .

الجدول (١٢ - ٤)

مخرجات الحاسب الالكتروني لبيانات المثال (١٢ - ١)

(1)	Regress.of	Y	Number of Units Sold		
(2)	on	X ₁	Number of Salespeople		
(3)		X ₂	Amount of Advertising Expenditure		
(4)	Variable Name	Regress. Coeff	S.E. of Coeff.	ت	D.F.
(5)	Constant	6.05263			
(6)	X1	2.10526	.17708	11.88891	7
(7)	X2	.87719	.16125	5.42652	7

(8) Coefficient of Determination (R^2) = .974659

(9) Estimated Standard Error of Estimate = .722013

Analysis of Variance for Regression

(10) Source of Variation	SS	D.F.	MS	F
(11) Regression	140.351	2	70.1754	134.615
(12) Residual	3.64912	7	.521303	

(أ) معادلة الانحدار :

بالتأمل في الجدول (١٢ - ٤) نرى أن الحاسب قد قام بإيجاد التقديرات للوبة للبارامترات α ، β_1 ، β_2 ، وهي :

$$= 6,05263 \text{ ، } \beta_1 = 2,10526 \text{ ، } \beta_2 = 0,87719$$

هذه القيم الثلاث هي تلك المدونة بالصفوف ٥ ، ٦ ، ٧ من العمود الثاني فـ دـ ل . وإذن معادلة الانحدار هي - التقريب إلى ٣ خانات عشرية :

$$= 6,053 + 2,105 \beta_1 + 0,877 \beta_2$$

بلا إذا كان عدد البائعين في الفرع $\beta_1 = 4$ والتكاليف الشهرية $\beta_2 = 12$ نا نتوقع أن يكون عدد الوحدات المباعة حوالى ٢٤ وحدة .

(ب) اختبار دلالة الانحدار الخطى :

من الجدول (١٢ - ٤) نجد أن الحاسب قد حسب لنا جدول التباين في طور الثلاثة الأخيرة ، فقد أعطانا كلا من :

اختلاف المفسر (الانحدار) $= 140,351$ بدرجات حرية $k = 2$

اختلاف غير المفسر (الانحراف عن خط الانحدار) $= 3,64912$ بدرجات

ية $n - k = 1 - 7$ بل أعطانا أيضا نسبة التباين في مستخدما الصيغة (٦)

٥

$$= \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} = \frac{140,351}{3,64912} = 38,215$$

ستتاج :

كانت القيمة ٣٨,٢١٥ تزيد كثيرا عن القيمة الحرجة $F_{(7, 38,215)} = 9,00$

نرفض الفرض الصفري أن $\beta_1 = \beta_2 = 0$ عند مستوى عالى من الدلالة بمعنى أن هناك علاقة خطية بين عدد الوحدات المباعة من ناحية وعدد البائعين وتكاليف الإعلان من ناحية أخرى .

كما أن الحاسب قد أعطانا قيمة معامل التحديد بين المتغير ص والمتغيرين S_1 ، S_2 وهو $S^2 = 0.974659$ وهذا يعنى أن المتغيرين التنبؤيين قد فسرا حوالى ٩٧,٥٪ من التغير فى ص وهذا جزء كبير يدعم الحكم بوجود العلاقة الخطية .

(ح) اختبار دلالة كل من معاملى الانحدار :

أعطانا الحاسب فى السطرين السادس والسابع من العمود الثالث التقديرين الخاصين بالخطأ المعيارى لمعاملى الانحدار الجزئيين وهما $E(ب) = 0.17708$ ، $E(ب) = 0.16125$ ، كما أعطانا فى العمودين الأخيرين من هذين السطرين قيمتى T_1 ، T_2 مستخدما الصيغة (١٠) بعد وضع $\beta_1 = 0$ ، $\beta_2 = 0$ وهما $T_1 = 11.88891$ ، $T_2 = 5.42652$ ولكل منهما سبع درجات حرية .

الاستنتاج :

نظرا لأن $T_1 = 3.499 = F_{[7], [77], 0.01}$ نرفض كلا من الفرضين الصفريين $\beta_1 = 0$ ، $\beta_2 = 0$ عند مستوى الدلالة ٠,٠١ وهذا يعنى أن كلا من المتغيرين التنبؤيين يسهم إسهاما جوهريا فى التنبؤ بعدد الوحدات المباعة .

نلخص ما وجدناه فى هذه التجربة كما يلى : بناء على البيانات المشاهدة فى العينة على أساس أن افتراضات الانحدار متحققة ، تأخذ معادلة الانحدار الشكل الآتى :

$$\hat{V} = 6.053 + 2.105 S_1 + 0.877 S_2$$

وهذه المعادلة تعبر تعبيراً مناسباً عن العلاقة الحقيقية بين المتغير α (عدد الوحدات المباعة) والمتغيرين β_1 ، β_2 (عدد البائعين وقيمة تكاليف الإعلان) ، وتفسر حوالي ٩٧,٥% من التغير في قيم α . كما أن كلا من هذين المتغيرين يسهم إسهاماً جاداً في التنبؤ بقيم هذا المتغير .

(ثانياً) الحل بغير استخدام الحاسب :

إذا لم يكن الحاسب الآلى متوفراً وكان الانحدار ذا متغيرين تنبؤيين فقط ، يمكن إجراء العمليات الحسابية المطلوبة باستخدام حاسب الجيب دون تحمل مشقة كبيرة . وفي هذا المثال يتخذ الحل الخطوات الآتية :

(١) إيجاد معادلة الانحدار :

نبدأ بحساب المجاميع الآتية

مح ص = ٢٥٠ ، مح ص^٢ = ٦٣٩٤ ، مح β_1 ص = ٤٠ ، مح β_2 ص = ١٨٠ ،
مح β_1 ص^٢ = ١٢٠ ، مح β_2 ص^٢ = ١٤٦٤ ، مح $\beta_1 \beta_2$ ص = ٤٨٩ ، مح β_1 ص = ١٠٥٠ ،
مح β_2 ص = ٣٠٤٠ ثم نعوض بهذه القيم في المعادلات المعتادة (٣) كالآتي :

$$١٠ \quad ٢٥٠ = \beta_1 ١٢٠ + \beta_2 ٤٠ + \alpha$$

$$٤٠ \quad ١٠٥٠ = \beta_1 ٤٨٩ + \beta_2 ١٨٠ + \alpha$$

$$١٢٠ \quad ٣٠٤٠ = \beta_1 ١٤٦٤ + \beta_2 ٤٨٩ + \alpha$$

وهناك عدة طرق لحل مثل هذه المعادلات نختار منها هنا طريقة دوليتل Doolittle التي تحول مصفوفة المعاملات والثوابت في المعادلات المعتادة إلى مصفوفة مثلثية تكون جميع عناصر القطر الرئيسى فيها مساوية للواحد . ولهذه الطريقة روتين خاص من التعليمات تبين من الجدول (١٢ - ٥) الآتي .

الجدول (١٢ - ٥)

طريقة دوليتل لحل المعادلات الخطية

التعليقات	الصف	α	β_1	β_2	الثوابت
معادلات وثابت المعادلة الأولى	1^M	١٠	٤٠	١٢٠	٢٥٠
معادلات وثابت المعادلة الثانية	2^M	٤٠	١٨٠	٤٨٩	١٠٥٠
معادلات وثابت المعادلة الثالثة	3^M	١٢٠	٤٨٩	١٤٦٤	٣٠٤٠
1^M	1^M	١٠	<u>٤٠</u>	<u>١٢٠</u>	٢٥٠
$1^M \div 1^M$	ص١	١	٤	١٢	٢٥
$2^M - 2^M \text{ ص} 1$	2^M	٠	٢٠	<u>٩</u>	٥٠
$2^M \div 2^M$	ص٢	٠	١	٠,٤٥	٢,٥
$3^M - 3^M \text{ ص} 1 - 3^M \text{ ص} 2$	3^M	٠	٠	١٩,٩٥	١٧,٥
$3^M \div 3^M$	ص٣	٠	٠	١	٠,٨٧٧١٩

يلاحظ في هذه التعليقات أن هناك ثلاثة مقادير ثابتة هي $1^M = ٤٠$ ، $2^M = ١٢٠$ ، $3^M = ٩$ وهذه تسمى محاور الارتكاز . أما بقية القيم التي تشتمل على الرمز $ص$ فتتغير حسب قيمة $ص$ التي تعبر عن رقم العمود ($ص = ١ ، ٢ ، ٣$ ، ٤) فمثلا 2^M تعبر عن العنصر الذي بالصف 2^M والعمود $ص$ وبهذا يكون

$$1^M = ٤٠ ، 2^M = ١٨٠ ، 3^M = ٤٨٩ ، 4^M = ١٠٥٠$$

تبدأ طريقة دولتيل بتدوين معاملات وثوابت المعادلات كما هو مبين بالصفوف الثلاثة الأولى المشار إليها بالرموز α ، β ، γ . ثم تحسب عناصر الصفوف التالية الواحد بعد الآخر باستخدام التعليمات المبينة أمامه .

فالصف الرابع γ يتكون من نفس عناصر الصف α . والصف التالى δ يتكون بقسمة عناصر الصف السابق γ على معامل α وهو ١٠ ، والصف التالى ϵ تتكون عناصره باستخدام التعليمات المبينة أمامه كالآتى :

بوضع $\gamma = ١$ نجد أن العنصر الأول فى هذا الصف هو $٤٠ - ١ \times ٤٠ = ٠$.

وبوضع $\gamma = ٢$ نجد أن العنصر الثانى فى هذا الصف هو $١٨٠ - ٤ \times ٤٠ = ٢٠$.

وبوضع $\gamma = ٣$ نجد أن العنصر الثالث فى هذا الصف هو

$$٩ = ١٢ \times ٤٠ - ٤٨٩$$

وبوضع $\gamma = ٤$ نجد أن العنصر الرابع فى هذا الصف هو

$$٥٠ = ٢٥ \times ٤٠ - ١٠٥٠$$

وبلاحظ أننا استخدمنا هنا محور الارتكاز $\gamma = ٤٠$.

بنفس الطريقة نوجد بقية الصفوف الثلاثة . وبذلك تتحول المصفوفة التى رمز لصفوفها بالرموز α ، β ، γ ، وهى المصفوفة الأصلية إلى المصفوفة المثلثية التى رمز لصفوفها بالرموز α ، β ، γ ، وبالتالى تتحول مجموعة المعادلات المعتادة إلى المجموعة المكافئة الآتية :

$$\alpha + ٤\beta + ١٢\gamma = ٢٥ \quad (\text{من الصف ص}_١)$$

$$\beta + ٠,٤٥\gamma = ٢,٥ \quad (\text{من الصف ص}_٢)$$

$$\gamma = ٠,٨٧٧١٩ \quad (\text{من الصف ص}_٣)$$

من هذه المعادلات ينتج أن القيم α ، β ، γ التى تحقق هذه المعادلات معا هى :

$$٠,٨٧٧١٩ = ب$$

$$٠,٨٧٧١٩ \times ٠,٤٥ - ٢,٥ = ب$$

$$٠,٤٥ - ٢,٥ = ب$$

$$٢,١٠٥٢٦ =$$

$$١, ٢٥ - ١٢ - ب$$

$$٢,١٠٥٢٦ \times ٤ - ٠,٨٧٧١٩ \times ١٢ - ٢٥ =$$

$$٦,٠٥٢٦٨ =$$

فتكون معادلة الانحدار مقربة إلى ثلاث خانات عشرية هي :

$$ص = ٦,٠٥٣ + ٢,١٠٥ ب + ٠,٨٧٧ س$$

وهي نفس المعادلة التي أوجدناها لنا الحاسب الآلى .

(ب) اختبار دلالة الانحدار :

نحتاج هنا إلى تحليل الاختلاف في ص إلى مركبتين كالآتى :

$$\text{الاختلاف الكلى} = \text{ص}^2 = (\text{ص})^2 - \frac{(\sum \text{ص})^2}{ن}$$

$$٩ = ١ - ١٤٤ \text{ درجات حرية} = \frac{٢٥٠}{١٠} - ٦٣٩٤ =$$

من الصيغة (٥) نجد أن :

الاختلاف غير المفسر = ص^٢ - أ^٢ ب^٢ س^٢ - ب^٢ س^٢ - ب^٢ س^٢ ص

$$٣٠٤٠ \times ٠,٨٧٧١٩ - ١٠٥٠ \times ٢,١٠٥٢٦ - ٢٥٠ \times ٦,٠٥٢٦٨ - ٦٣٩٤ =$$

$$٧ = ١ - ٧ = ٣,٦٤٩٤ =$$

∴ الاختلاف المفسر = ١٤٤ - ٣,٦٤٩٤

$$١٤٠,٣٥٠٦ = \text{بدرجات حرية ك} = ٢$$

لاختبار دلالة الانحدار نستخدم الصيغة (٦) كالآتي :

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}} = \frac{٢ \div ١٤٠,٣٥٠٦}{٧ \div ٣,٦٤٩٤} = ١٣٤,٦٠٤٩ =$$

وهذه هي نفس القيمة التي أوجدناها الحاسب (مع فارق التقريب) وهي كما ذكرنا ذات دلالة عالية وتدعونا لرفض الفرض الصفري $\beta = ٠$

$$\text{معامل التحديد } r^2 = \frac{\text{الاختلاف المفسر}}{\text{الاختلاف الكلي}} = \frac{١٤٠,٣٥٠٦}{١٤٤} = ٠,٩٧٤٦٦ =$$

وهي نفس القيمة التي أوجدناها الحاسب .

(ح) اختبار دلالة كل من معاملي الانحدار :

نحتاج هنا أولاً إلى تقدير الخطأ المعياري لكل من المعاملين بالصيغة (١١) وهي

$$s_{b_1} = \frac{s_{\text{خطأ}}}{\sqrt{(١ - r^2) \cdot \frac{١}{n}}}$$

ثم استخدام اختبار ت لكل منهما بالصيغة (١٠) وهي

$$t = \frac{b - ٠}{s_{b_1}} =$$

بدرجات حرية عددها $u - k - 1 = v$.

$$\text{لدينا : } \chi^2_{\text{ص. س. س.}} = \frac{1}{u - k - 1} \times \text{الاختلاف غير المفسر}$$

$$0,5212427 = 3,6494 \times \frac{1}{v} =$$

$$0,7220 = \therefore \chi^2_{\text{ص. س. س.}}$$

$$20 = \frac{40}{10} - 180 = (س) ٢٢ ،$$

$$24 = \frac{120}{10} - 1464 = (س) ٢٢ ،$$

$$9 = \frac{120 \times 40}{10} - 489 = (س ، س) ٢٢ ،$$

$$0,16875 = \frac{81}{24 \times 20} = \therefore \chi^2_{٢١}$$

$$0,83125 = \therefore \chi^2_{٢١} - 1$$

$$0,17707 = \frac{0,72198}{20 \times 0,83125} = \text{ومنها } \chi^2_{(ب)}$$

$$0,16164 = \frac{0,72198}{24 \times 0,83125} = \chi^2_{(ب)}$$

$$\text{بدرجات حرية } v \quad 11,888 = \frac{2,100}{0,17707} = \therefore t_1$$

$$\text{بدرجات حرية } v \quad 5,4256 = \frac{0,877}{0,16164} = t_2$$

وهاتان القيمتان أعطاهما الحاسب وقد رأينا أن كليهما ذو دلالة عالية وتدعوان إلى رفض كل من الفرضين $\beta_1 = 0$ ، $\beta_2 = 0$ عند مستوى الدلالة ٠,٠١ .

(١٢ - ٣) أسلوب آخر لاختبار دلالة معاملات الانحدار الجزئية :

لنبدأ بالحالة التي يكون لدينا فيها متغيران سينيان S_1 ، S_2 . إذا أوجدنا الاختلاف المفسر الناشئ عن انحدار هذين المتغيرين على المتغير S_3 حين يستخدمان معا (بدرجتين من درجات الحرية) ثم أوجدنا الاختلاف الناشئ عن انحدار المتغير S_3 على المتغير S_3 حين يستخدم وحده (بدرجة واحدة من الحرية) فإن الفرق بين هذين الاختلافين هو مقدار الاختلاف المفسر الذي ساهم به المتغير S_3 عند ضمه إلى المتغير S_3 . أي هو المساهمة الخاصة بالمتغير S_3 بعد استبعاد مساهمة S_1 ويمكن اختبار الفرض الصفري $\beta_3 = 0$. ضد الفرض $\beta_3 \neq 0$ بواسطة اختبار ف بالصفة (٦) كالآتي :

$$F = \frac{\text{التباين المفسر (للمتغير } S_3 \text{ بعد استبعاد } S_1)}{\text{التباين غير المفسر}}$$

$$(13) \quad \frac{[\text{م}^2 (\text{انحدار } S_1 , S_2) - \text{م}^2 (\text{انحدار } S_1 , S_2 , S_3)] / 1}{[\text{م}^2 (\text{ص}) - \text{م}^2 (\text{انحدار } S_1 , S_2 , S_3)] / (3 - 4)}$$

مع ملاحظة أن $\text{م}^2 (\text{ص}) - \text{م}^2 (\text{انحدار } S_1 , S_2)$ هو الاختلاف غير المفسر . وبالمثل ، إذا أوجدنا الاختلاف الذي يفسره S_3 وحده وطرحناه من الاختلاف الذي يفسره المتغيران معا نحصل على المساهمة الخاصة بالمتغير S_3 بعد استبعاد أثر S_1 ويمكن اختبار هذه المساهمة بنفس الطريقة .

ففى المثال - انظر الحل بغير الحاسب - وجدنا ما يلى :

$$٢٢ (ص) = \text{الاختلاف الكلى} = ١٤٤$$

$$٢٢ (المحدار س١ ، س٢) = \text{الاختلاف المفسر للمتغيرين معا} = ١٤٠,٣٥١٢$$

$$\text{الاختلاف غير المفسر} = ٣,٦٥ \text{ بدرجات حرية } ٣ - ١$$

نحسب الآن الاختلاف الذى يفسره كل من س١ ، س٢ عندما يستخدم كل منهما على حدة .

$$٢٢ (المحدار س١) = \frac{٢ (ص (س١) ، ص) }{٢٢ (س١)}$$

$$١٢٥ = \frac{٢ \left(\frac{٤٠ \times ٢٥٠}{١٠} - ١٠٥٠ \right)}{٢٠} = \text{بدرجة واحدة من الحرية}$$

$$٢٢ (المحدار س٢) = \frac{٢ \left(\frac{١٢٠ \times ٢٥٠}{١٠} - ٣٠٤٠ \right)}{٢٤} = ٦٦,٦٧ \text{ بدرجة واحدة من الحرية}$$

من الصيغة (١٣) ، لاختبار الفرض β ،

$$١ = \frac{٧٣,٦٨١٢}{١,٥٢١٤} = \frac{٦٦,٦٧ - ١٤٠,٣٥١٢}{٧ \div ٣,٦٥}$$

$$\text{بدرجتى حرية } ١ ، ٧ = ١٤١,٣١٤$$

ولاختبار الفرض β ،

$$٢ = \frac{١٥,٣٥١٢}{١,٥٢١٤} = \frac{١٢٥ - ١٤٠,٣٥١٢}{٧ \div ٣,٦٥}$$

$$\text{بدرجتى حرية } ١ ، ٧ = ٢٩,٤٤٢$$

ونظرا لأن $F_{[7, 1], 0.1} = 12.2$ نرفض كلا من $H_0: \beta = 0$ ، $H_0: \beta = 0$.

عند مستوى الدلالة 0.01 .

يلاحظ أن اختبار ف المستخدم هنا يكافئ اختبار ت الذى نتج عن الحل السابق ، ويتأكد هذا من ملاحظة أن $\sqrt{141,314} = 11,888 = t_{\alpha/2}$ ، $\sqrt{29,442} = 5,426 = t_{\alpha/2}$. ويمكن إذا أردنا أن ندون هذه النتائج فى جدول كالآتى .

الجدول (١٢-٦)

اختبار كل من المتغيرين بعد استبعاد أثر المتغير الآخر

مصدر الاختلاف	د ح	ط ٢	ف
المحدار س _١ ، س _٢ معا	٢		
المحدار س _١ وحده	١		
المحدار س _٢ وحده	١		
المحدار س _١ بعد س _٢	١	٧٣,٦٨	١٤١,٣١٤
المحدار س _٢ بعد س _١	١	١٥,٣٥	٢٩,٢٤٢
الاختلاف غير المفسر	٧	٠,٥٢١٤	
الكل	٩		

ملاحظات :

من التحليل الملخص بالجدول (١٢ - ٦) نخرج بالتائج والملاحظات الآتية :

(١) المتغير S_1 حين يستخدم وحده للتنبؤ بقيم S أفضل من المتغير S_2 حين يستخدم وحده لنفس الغرض ، وذلك لأن الاختلاف الذى يفسره S_1 منفردا وهو ١٢٥ أكبر من الاختلاف الذى يفسره S_2 منفردا وهو ٦٦,٦٧ . ونصل إلى نفس النتيجة إذا قارنا معامل التحديد ، فمعامل التحديد للمتغير S_1 هو :

$$r^2_{S_1} = \frac{125}{144} = 0,868.٠٦ \quad \text{بينما} \quad r^2_{S_2} = \frac{66,67}{144} = 0,46299$$

وبهذا الأسلوب نستطيع مقارنة أى عدد من المتغيرات تستخدم فرادا .

(٢) فى تفسير الاختلاف الكلى فى S تكون مساهمة أى متغير أكبر فى حالة استخدامه منفردا عنها فى حالة استخدامه بعد متغير آخر فبالنسبة للمتغير S_1 نجد أن $125 < 73,68$ وبالنسبة للمتغير S_2 نجد أن $66,67 < 15,35$ وهذه نتيجة عامة مهما كان عدد المتغيرات التنبؤية ، فالمساهمة المنفردة لأى متغير تكون أكبر دائما من مساهمته مع متغير أو عدة متغيرات أخرى .

(٣) معامل التحديد المحسوب من معادلة الانحدار للمتغيرين S_1 ، S_2 معا

$$\text{وهو } r^2_{(1,2)} = \frac{140,35}{144} = 0,975 \quad \text{أكبر من معامل التحديد المحسوب}$$

من معادلة الانحدار لأى من المتغيرين وهما ٠,٨٦٨ ، ٠,٤٦٣ . وهذه نتيجة عامة ، فمعامل التحديد يقل دائما حين يستبعد واحد أو أكثر من المتغيرات التنبؤية .

(٤) فى معادلة الانحدار للمتغيرين S_1 ، S_2 معا يصعب تقدير الأهمية

النسبية لهذين المتغيرين من حيث مقدار المساهمة فى التنبؤ بقيم المتغير التابع S ،

لأننا إذا قدرنا هذه الأهمية النسبية بواسطة الاختلافين المفسرين عند استخدام كل متغير على حدة وهما ١٢٥ ، ٦٧، ٦٦ نجد أن هذا التقدير غير مناسب لأن مجموع هذين الاختلافين وهو ١٩١، ٦٧ يزيد عن الاختلاف الكلي في ص وهو ١٤٤ . ومن ناحية أخرى ، إذا اعتبرنا الاختلاف الناشئ عن المتغير س_١ بعد استبعاد أثر المتغير س_٢ وهو ٧٣، ٦٨ والاختلاف الناشئ عن المتغير س_٢ بعد استبعاد أثر المتغير س_١ وهو ١٥، ٣٥ نجد أن مجموعهما وهو ٨٩، ٠٣ يقل عن الاختلاف الذى يفسره المتغيران معا وهو ١٤٠، ٣٥ . وهذه الصعوبة في تقدير الأهمية النسبية للمتغيرات هى إحدى الصعوبات التى يلقاها الباحث عند التصدى لمقارنة المتغيرات فى الانحدار الخطى المتعدد وعند اختيار أفضل المتغيرات التى تدخل فى معادلة الانحدار كما سيأتى بالبند التالى .

(٥) قيمة أى معامل انحدار جزئى ب_١ لمتغير س_١ هى قيمة شرطية تختلف باختلاف المتغيرات التى تدخل معه فى معادلة الانحدار .

إن أسلوب اختبار دلالة معاملات الانحدار الجزئية الذى أدى إلى الصيغة (١٣) هو أسلوب عام مهما كان عدد المتغيرات التنبؤية ، ويستخدم فى التعرف على دلالة ما يحدث من نقص فى دقة التنبؤ حين يستبعد واحد أو أكثر من المتغيرات من معادلة الانحدار . وبصفة عامة إذا كنا قد وفقنا معادلة انحدار فى ك من المتغيرات س_١ ، س_٢ ، ... ، س_ك ووفقنا معادلة انحدار فى ل > ك من هذه المتغيرات أى بعد استبعاد ك - ل منها ، وأردنا اختبار ما إذا كانت دقة التنبؤ قد نقصت نقصا ذا دلالة نتيجة لهذا الاستبعاد فإننا نستخدم الصيغة العامة الآتية :

$$F = \frac{[\sum (e)^2 - \sum (e)^2 / (l)] / (k - l)}{[\sum (v)^2 - \sum (e)^2] / (n - k - 1)} \quad (14)$$

بدرجتى حرية ك - ل ، ن - ك - ١ ،

حيث ٢ ٢ (ك) هو الاختلاف الناشئ عن الانحدار على ك من المتغيرات
 ، ٢ ٢ (ل) هو الاختلاف الناشئ عن الانحدار على ل من هذه المتغيرات
 ، ٢ ٢ (ص) هو الاختلاف في قيم المتغير التابع ص
 إذ يمكن إثبات أن كلا من بسط ومقام هذه النسبة هو تقدير مستقل للتباين
 . ١٥

إن الصيغة (١٤) يمكن كتابتها بدلالة معاملات التحديد كالآتي :

$$(١٥) \quad F = \frac{[S^2 - (K) S^2 / (L)] / (L - K)}{[S^2 - 1] / (K - 1 - \nu - K - 1)}$$

بدرجتي حرية (ك - ل) ، (١ - ك - ل - ١)

مثال (١٢ - ٢) :

أجرى انحدار خطي لمتغير عشوائي ص على خمسة متغيرات تنبؤية س_١ ،
 س_٢ ، س_٣ ، س_٤ ، س_٥ ووجد أن معامل التحديد في عينة حجمها ٤٦ هو
 ٠,٦٢. وعندما أجرى انحدار خطي لنفس المتغير على ثلاثة من هذه المتغيرات
 س_١ ، س_٢ ، س_٣ وجد أن معامل التحديد ٠,٥٧ هل يمكن الاستغناء عن
 المتغيرين س_٤ ، س_٥ والاكتفاء بالمتغيرات الثلاثة الأخرى دون أن نفقد شيئا من
 دقة التنبؤ بقيم المتغير ص ؟

الحل :

من الصيغة (١٥) :

$$F = \frac{2 \div (0,57 - 0,62)}{40 \div (0,62 - 1)} = 2,632$$

وهذه القيمة تقل عن القيمة الحرجة ف $3,23 = [40, 17, 00]$ مما يدعونا إلى قبول
الفرض الصفري أن دقة التنبؤ لم تتأثر ، وبالتالي نستطيع الاكتفاء بالمتغيرات
 β_0 ، β_1 ، β_2 للتنبؤ بالمتغير \hat{y} دون أن نفقد شيئا من دقة التنبؤ .

مثال (١٢ - ٣) :

في المثال (١٢ - ١) هل نستطيع الاكتفاء بأحد المتغيرين للتنبؤ بقيم المتغير التابع
 \hat{y} دون أن نفقد شيئا من دقة التنبؤ ؟

الحل :

سبق أن أجبنا عن هذا السؤال حين استخدمنا الصيغة (١٣) - التي هي حالة
خاصة من الصيغة (١٤) أو (١٥) - في رفض كل من الفرضين $\beta_1 = 0$ ، $\beta_2 = 0$.
لأن هذا يعني أن وجود أى من المتغيرين له أثر ذو دلالة في عملية التنبؤ . باستخدام
الصيغة (١٥) لاختبار إمكانية الاستغناء عن المتغير β_1 لدينا :

$$\begin{aligned} \hat{y}_{(1)} = 0,97466 + \hat{y}_{(2)} = 0,46299 + \hat{y}_{(3)} \\ F_1 = \frac{0,51167}{0,00362} = \frac{1 \div (0,46299 - 0,97466)}{7 \div (0,97466 - 0)} = 141,35 = \end{aligned}$$

وهذه القيمة ذات دلالة عالية وتعني أن الاستغناء عن β_1 يقلل من دقة التنبؤ .
وبالمثل ، لاختبار إمكانية الاستغناء عن β_2 .

$$F_2 = \frac{0,86806 - 0,97466}{0,00362} = 29,45 \text{ وهذه أيضا ذات دلالة عالية وتعني}$$

أن الاستغناء عن β_2 يقلل من دقة التنبؤ .

(١٢ - ٤) اختيار متغيرات التنبؤ :

من الصعوبات التي يلقاها الباحثون في الانحدار المتعدد كيفية اختيار المتغيرات التي تدخل في معادلة الانحدار لتعطي أعلى درجة من الدقة في التنبؤ بالمتغير التابع ص . وفي المعتاد يكون لدى الباحث مجموعة كبيرة من المتغيرات المرشحة لذلك ويكون من المفيد عمليا اختصار هذه المجموعة إلى مجموعة تتكون من أقل عدد ممكن من هذه المتغيرات بشرط أن تعطي هذه المجموعة الجزئية معادلة تنبؤ لا تقل كفاءة عن المعادلة التي تستخدم جميع المتغيرات المتاحة . إن عملية الاختصار هذه ممكنة في الغالب لأن بعض المتغيرات المتاحة لا تسهم بدرجة كافية في عملية التنبؤ كما قد يبدو لأول وهلة ، كما أنه قد توجد مجموعة (أو أكثر) من المتغيرات المتاحة ترتبط ببعضها ارتباطا عاليا وبالتالي تعطي معلومات ماثلة ويمكن حينئذ الاكتفاء بمتغير واحد فقط من هذه المجموعة ليُمثلها جميعا .

ويتلخص السؤال المطروح هنا فيما يلي : إذا كان لدينا ك من المتغيرات التنبؤية المرشحة للدخول في معادلة الانحدار فكيف نختار أصغر مجموعة جزئية من هذه المجموعة بحيث تعطي نفس الدرجة من الدقة في التنبؤ بالمتغير التابع ؟ فمثلا إذا كان لدينا مجموعة من عشرة متغيرات تنبؤية فهل يمكن أن نكتفي بمجموعة من اثنين أو ثلاثة منها لتعبر عن المجموعة بكاملها (دون أن نفقد شيئا من دقة التنبؤ) ؟

الواقع أنه لا توجد إجابة واحدة شافية لهذا السؤال ولكن هناك عدة اقتراحات بمحاولات نسترشد بها في تحديد المجموعة المطلوبة ، وتتطلب هذه المحاولات النظر إلى البيانات المشاهدة عدة مرات من جوانب مختلفة ، وهنا يلعب الحاسب دورا رئيسيا لأن تنفيذ هذه المحاولات يحتاج إلى جهد حسابي شاق .

نفرض أننا حصلنا على بيانات مشاهدة في عينة حجمها n كما في الجدول (١٢ - ١) السابق .

(١) إن أول ما يحظر بالبال هو اختيار المتغيرات الأكثر علاقة بالمتغير التابع ص ، فنقوم بالمقارنة بينها كمتغيرات فرادا إما عن طريق مقادير الاختلافات المفسرة ٢٢ (الانحدار) أو عن طريق معاملات التحديد r^2 كما جاء بالملاحظة (١) بالبند (١٢ - ٣) السابق ، فتكون المتغيرات ذوات القيم الأكبر مرشحة مبدئيا للدخول في معادلة انحدار متعدد .

(ب) نبحت عما إذا كان هناك مجموعة (أو أكثر) من المتغيرات التنبؤية التي ترتبط ببعضها ارتباطا عاليا ، فإذا وجدت مثل هذه المجموعة فإن أحدها يمكن أن يمثلها جميعا . ويحتاج الأمر هنا إلى إيجاد معامل الارتباط بين كل زوج من هذه المتغيرات ، ويفضل وضع هذه المعاملات وأيضا معاملات الارتباط بين كل من المتغيرات والمتغير التابع في جدول لتسهيل الرجوع إليها . وعلى فرض أن هناك خمس متغيرات تنبؤية يكون الجدول كالاتي :

ص	ص _١	ص _٢	ص _٣	ص _٤	ص _٥
ص _١	١	ص _{٢١}	ص _{٣١}	ص _{٤١}	ص _{٥١}
ص _٢		١	ص _{٣٢}	ص _{٤٢}	ص _{٥٢}
ص _٣			١	ص _{٤٣}	ص _{٥٣}
ص _٤				١	ص _{٥٤}
ص	ص _{١ص}	ص _{٢ص}	ص _{٣ص}	ص _{٤ص}	ص _{٥ص}

(ح) نوجد معادلة انحدار ص على جميع ما لدينا من متغيرات ثم نفحص دلالة كل من معاملات الانحدار الجزئية ب_١ ، ب_٢ ، ب_٣ ، ب_٤ ، ب_٥ عن طريق اختبار

ت بالصيغة (١٠) فتكون المتغيرات التى ترشح للدخول فى معادلة الانحدار هى تلك التى تغطى بالقيم الأكبر من قيم ت ، أما المتغيرات التى تناظر القيم الأصغر من ت فتكون معرضة للاستبعاد . على أن ذلك لا ينبغي أن يتم دون تدبر فإن استخدام أو استبعاد متغير مالا يقرر لمجرد أن قيمة ت المناظرة كبيرة أو صغيرة ، لأن قيم معاملات الانحدار الجزئية وبالتالي قيم ت هى قيم شرطية وتتغير بتغير المتغيرات التى تدخل معها فى الانحدار كما سبق القول بالملاحظة (٥) ، ومن ناحية أخرى قد توجد أسباب نظرية أو خبرات تحتم الاحتفاظ ببعض المتغيرات حتى ولو كان معامل الانحدار الجزئى المناظر غير ذى دلالة . فمثلا إذا كان لدينا عدة متغيرات نرغب استخدامها فى التنبؤ بالمسافة التى تقطعها سيارة ما وكان من بين هذه المتغيرات متغير « مقدار الوقود المستهلك » فلا بد من الاحتفاظ بهذا المتغير حتى ولو كان معامل الانحدار المناظر له غير ذى دلالة .

(د) على ضوء ما نجده فى (أ) و(ب) و(ج) نختار مجموعة أو أكثر من المتغيرات ونحسب معادلات الانحدار كل منها مع إيجاد معامل التحديد ومقارنته بمعامل التحديد الذى ينجم من الانحدار على جميع المتغيرات المتاحة واختبار دلالة الفرق بينهما فى دقة التنبؤ باستخدام الصيغة (١٥) . وإذا وجدنا أن إحدى المجموعات المختارة بنفس كفاءة المجموعة الكاملة نحاول اختزالها بنفس الطريقة إلى مجموعة ذات عدد أقل من المتغيرات .

ويبنى اختيارنا النهائى لمجموعة المتغيرات التى تدخل فى معادلة التنبؤ التى ننشدها على أساس أنها (أولا) تشتمل على أقل عدد من المتغيرات و(ثانيا) يمكنها أن تعبر عن مجموعة المتغيرات المتاحة بكاملها ، أى بحيث لا تقل دقة التنبؤ منها عن دقة التنبؤ من استخدام جميع المتغيرات المتاحة . هذا ويجدر الإشارة أن المجموعة التى تختار على هذا الأساس ليست فريدة ، بل يمكن أن نعثر على أكثر من مجموعة تستوفى الشرطين المطلوبين .

تقارین (۱۲ - ۱)

أجريت دراسة لمعرفة أثر العوامل الجغرافية على حجم نوع من الضفادع واستهدف جزء من هذه الدراسة التنبؤ بطول جسم الضفدعة عن طريق الارتفاع عن سطح البحر والمتوسط السنوي لدرجة الحرارة . وقد جمعت بيانات من ۱۳ موقعا ودونت بالجدول الآتي :

الجدول (۱۲ - ۷)

الموقع	طول الضفدعة عن س	الارتفاع عن سطح البحر س _۱	درجة الحرارة س _۲
(۱)	۲۳,۷	۶۰۰	۶۰
(۲)	۲۳,۹	۸۰۰	۵۵
(۳)	۲۳,۴	۱۴۵۰	۵۰
(۴)	۲۳,۴	۱۴۰۰	۵۰
(۵)	۲۲,۲	۱۰۰	۵۵
(۶)	۱۹,۵	۴۵۰	۵۰
(۷)	۲۳,۵	۴۰۰	۵۰
(۸)	۲۴,۷	۸۰۰	۶۰
(۹)	۲۳,۳	۸۰۰	۶۰
(۱۰)	۲۱,۷	۱۱۰۰	۵۰
(۱۱)	۲۱,۳	۵۰۰	۵۰
(۱۲)	۲۰,۲	۴۰۰	۵۰
(۱۳)	۲۲,۱	۴۰۰	۵۰

$$\begin{aligned}
 8490.00 &= \text{م.س.}^2 & 92.00 &= \text{م.س.}^1 & 6627.27 &= \text{م.س.}^0 \\
 4860.00 &= \text{م.س.}^2 & 3680.00 &= \text{م.س.}^1 & 69.00 &= \text{م.س.}^0 \\
 10092.00 &= \text{م.س.}^2 & 21.260 &= \text{م.س.}^1 & &= \text{م.س.}^0
 \end{aligned}$$

(أولاً) استخدم مخرجات الحاسب الإلكتروني المبينة بالجدول (١٢ - ٨) الآتي لإيجاد معادلة الانحدار الخطي للمتغير ص على المتغيرين س_١ ، س_٢ .
 (ثانياً) اختبر دلالة الانحدار ككل ودلالة كل من معاملي الانحدار . هل من الممكن الاستغناء عن أحد المتغيرين التنبؤيين دون أن نفقد شيئاً من دقة التنبؤ ؟
 (ثالثاً) أجب عن الجزئين (أولاً) و(ثانياً) دون الاستعانة بمخرجات الحاسب .

الجدول (١٢ - ٨)

Regress. of	Y	Length of Frog		
On	X ₁	Altitude		
	X ₂	Temperature		
Variable Name	Regress. Coeff.	S.E. of Coeff.	t	D.F.
Constant	9.785579	4.129044	2.37	
X ₁	.1700912 E-02.	.81158094-03	2.10	10
X ₂	.2174479	.7589070 E-1	2.87	10
Multiple Corr. Coeff. (R)	= .73379			
Coeff. of Determination (R ²)	= .5384			
Estimated Standard Error of Estimate	= 1.1390588			
Analysis of Variance for Regression				
Source of Variation	SS	D.F.	M S	F
Regression	15.13315	2	7.566575	5.8319
Residual	12.97455	10	1.297455	

ملاحظة :

الرمز 01 - E يعنى ضرب العدد الذى على يسار هذا الرمز فى ١٠^{-١}
الرمز 02 - E يعنى ضرب العدد الذى على يسار هذا الرمز فى ١٠^{-٢}
وهكذا ...

الرمز 02 + E يعنى ضرب العدد الذى على يسار هذا الرمز فى ١٠^٢
وهكذا ...

فمثلا العدد 02 - E 1700912 . يعنى العدد 001700912 .
هذا ما يسمى بالرمزية العلمية scientific notation

ثانيا - الارتباط الخطى المتعدد

سنفترض هنا أن لدينا $k + ١$ من المتغيرات العشوائية $x_١, x_٢, \dots, x_k$ ،
كما سنفترض أن توزيع الاحتمال المشترك لهذه المتغيرات هو توزيع معتدل
متعدد المتغيرات multivariate normal distribution . إن هذا الفرض يتضمن
أمرين : الأول أن توزيع أى من هذه المتغيرات (على حدة) هو توزيع معتدل ،
والثانى أن العلاقة بين أى من هذه المتغيرات وأى متغير آخر أو مجموعة من المتغيرات
الأخرى هي علاقة خطية .

وامتدادا لدراساتنا فى الارتباط الخطى البسيط فى الفصل العاشر نتناول فى
البندين الآتين معاملين رئيسيين هما معامل الارتباط الخطى المتعدد ومعامل الارتباط
الجزئى ونرى كيف نختبر دلالة كل منهما .

(١٢ - ٥) معامل الارتباط المتعدد

MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT

إذا أردنا تقدير درجة العلاقة الخطية بين أحد هذه المتغيرات وليكن $x_١$ وبقيّة
المتغيرات ، فإننا نعرّف معامل الارتباط المتعدد بين $x_١$ والمتغيرات الأخرى بأنه

معامل الارتباط البسيط بين المتغير v_1 والمتغير العشوائى الذى يتكون من التركيب الخطى $\alpha + \beta_1 v_1 + \beta_2 v_2 + \dots + \beta_k v_k + v_{k+1}$ وسنرمز لهذا المعامل بالرمز $\rho_{(1 \dots k+1)}$.

ولتقدير هذا المعامل نأخذ عينة عشوائية من n من وحدات المجتمع ونقوم بقياس قيمة كل من هذه المتغيرات لكل وحدة فنحصل على n من المشاهدات كل منها على الصورة $(v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}, v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2n}, \dots, v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{kn}, v_{k+11}, v_{k+12}, \dots, v_{k+1n})$ حيث $v = 1, 2, \dots, k+1$ وتوضع هذه القياسات عادة كما فى الجدول الآتى .

جدول (١٢ - ٨)

الملاحظات	v_1	v_2	v_3	\dots	v_{k+1}
(١)	v_{11}	v_{21}	v_{31}	\dots	v_{k+11}
(٢)	v_{12}	v_{22}	v_{32}	\dots	v_{k+12}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
(٣)	v_{1n}	v_{2n}	v_{3n}	\dots	v_{k+1n}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
(٤)	v_{11}	v_{21}	v_{31}	\dots	v_{k+11}

من هذه المشاهدات نحصل على التقدير المطلوب بعدد سنرمز له بالرمز $\rho_{(1 \dots k+1)}$ ونحسبه كما فى حالة الارتباط الخطى البسيط من الصيغة

$$\rho_{(1 \dots k+1)}^2 = \frac{\text{الاختلاف المفسر}}{\text{الاختلاف الكلى}} \quad (١٦)$$

أى أن التقدير المطلوب هو الجذر التربيعى لنسبة الاختلاف الذى يفسره الانحدار الخطى المتعدد إلى الاختلاف الكلى فى المتغير v_1 . ويمكن إثبات أنه فى هذه الحالة .

$$(17) \quad 1 \leq r_1 \leq (1 + \dots + r_2) \leq 0$$

أى أن هذا المعامل لا يمكن أن يكون سالبا وهو يختلف فى هذه الصفة عن معامل الارتباط البسيط الذى نعلم أنه يمكن أن يأخذ قيما سالبة .

وكما فى الانحدار الخطى المتعدد نعلم فى حساب هذا المعامل على الحاسب الالكترونى توفيراً للجهد والوقت . وفى الحالة البسيطة التى يكون لدينا فيها ثلاثة متغيرات عشوائية v_1 ، v_2 ، v_3 يمكننا حساب معامل الارتباط المتعدد $r_{(3,2)}^1$ بين المتغير v_1 والمتغيرين v_2 ، v_3 من الصيغة الآتية :

$$(18) \quad r_{(3,2)}^1 = \frac{r_{12}^1 \cdot r_{13}^1 - r_{23}^1}{r_{22}^1 - 1}$$

ويتطلب حساب هذه القيمة إيجاد كل من :

- r_{12}^1 وهو معامل الارتباط البسيط بين المتغيرين v_1 ، v_2 ،
- r_{13}^1 ، وهو معامل الارتباط البسيط بين المتغيرين v_1 ، v_3 ،
- r_{23}^1 ، وهو معامل الارتباط البسيط بين المتغيرين v_2 ، v_3 ،

ومن الواضح أن قيمة معامل الارتباط المتعدد تعتمد على قيم معاملات الارتباط البسيط بين أزواج المتغيرات المستخدمة ، وهذه الملاحظة صحيحة مهما كان عدد المتغيرات .

اختبار دلالة معامل الارتباط المتعدد :

لاختبار الفرض الصفري $H_0 = 0$ ضد الفرض H_1 (٣٢ ... ٣١ + ١) $\neq 0$.
نستخدم نفس الصيغة (٦) التي وردت بالبند (١٢ - ١) وهي :

$$F = \frac{\text{التباين المفسر}}{\text{التباين غير المفسر}}$$

$$(19) \quad \frac{S^2 / (1 + 32 \dots 31) \quad K}{(S^2 - 1) / (1 + 32 \dots 31) \quad (1 - K - 1)} =$$

وإذا توفرت الشروط المذكور في مستهل الجزء الثاني من هذا الفصل فإن هذه الإحصاءة يكون لها توزيع ف بدرجتى حرية ك ، ن - ك - ١ حيث ك + ١ عدد جميع المتغيرات المستخدمة . يلاحظ أن كلا من الصيغتين (٦) ، (١٩) تختبر وجود أو عدم وجود العلاقة الخطية .

مثال (١٢ - ٤) :

في عينة عشوائية من ٢٣ مجموعة من القيم من مجتمع معتدل ذى ثلاثة متغيرات عشوائية وجدت معاملات الارتباط البسيطة الآتية : $r_{11} = 0,38$ ، $r_{12} = 0,46$ ، $r_{22} = 0,51$. أوجد معامل الارتباط المتعدد $r_{12.1}$ واختبر دلالاته .

الحل :

$$\begin{aligned} & \text{من الصيغة (١٨) :} \\ & \frac{0,51 \times 0,46 \times 0,38 \times 2 - 0,2116 + 0,1444}{0,2601 - 1} = \frac{0,1444}{-0,7399} = -0,1951 \end{aligned}$$

∴ معامل الارتباط المتعدد المطلوب $= \sqrt{0,240} = 0,49$ تقريبا .

من الصيغة (١٩) :

$$r_{١٢} = \frac{٢ \div ٠,٢٤٠}{٢٠ \div (٠,٢٤ - ١)} = ٣,١٥٧٩ \quad \text{بدرجتي حرية } ٢٠,٢$$

وهذه القيمة ليست بذات دلالة عند المستوى ٠,٠٥ وتشير إلى عدم وجود ارتباط خطي بين المتغير $x_١$ والمتغيرين $x_٢$ ، $x_٣$.

(١٢ - ٦) معامل الارتباط الجزئي

PARTIAL CORRELATION COEFFICIENT

إن معامل الارتباط البسيط $r_{١٢}$ بين متغيرين عشوائيين $x_١$ ، $x_٢$ يفترض أن هذين المتغيرين يتأثران ببعضهما فقط ولا يتأثران بأى متغير آخر . إلا أنه في كثير من الحالات يكون كل من هذين المتغيرين متأثراً تأثراً خطياً بمتغير عشوائى ثالث $x_٣$ ، وفي هذه الحالة يقتضى القياس الصحيح للارتباط بين $x_١$ ، $x_٢$ استبعاد أثر هذا المتغير الثالث من كل منهما . إن المعامل الذى يقيس مثل هذا الارتباط يسمى بمعامل الارتباط الجزئى بين $x_١$ ، $x_٢$ وسنرمز له بالرمز $r_{١٢.٣}$. ويعرف هذا المعامل أيضا بأنه معامل الارتباط البسيط بين $x_١$ ، $x_٢$ عند قيمة ثابتة للمتغير $x_٣$ أى في قطاع الوحدات التى تأخذ نفس القيمة للمتغير $x_٣$. ويتفق هذان التعريفان طالما كان توزيع الاحتمال المشترك للمتغيرات الثلاثة معتدلاً $trivariate normal distribution$ إذ أنه في هذه الحالة تظل قيمة $r_{١٢.٣}$ كما هى مهما كانت القيمة الثابتة للمتغير $x_٣$ ، وهذه هى الحالة التى نتناولها هنا والتى تنتمى مع ما افترضناه في مستهل هذا الجزء .

ويقدر هذا المعامل من العينة بمقدار سنرمز له بالرمز $r_{١٢.٣}$ حيث

$$(٢٠) \quad r_{١٢.٣} = \frac{r_{١٢} - r_{١٣}r_{٢٣}}{\sqrt{(r_{١١} - 1)(r_{٢٢} - 1)}}$$

وحيث r_{12} ، r_{13} ، r_{23} هي معاملات الارتباط البسيط بين أزواج المتغيرات .
وينفس الطريقة نحسب كلا من r_{23} ، r_{13} مع تذكر أننا هنا لا نميز بين
متغير مستقل ومتغير تابع .

أما دلالة هذا المعامل فنختبره عن طريق الإحصاءة :

$$t = \frac{\sqrt{3-2} \sqrt{r_{23}^2 - 1}}{\sqrt{3-2} \sqrt{r_{13}^2 - 1}} \quad \text{بدرجات حرية } 3 - 2 \quad (21)$$

أو عن طريق الإحصاءة المكافئة:

$$F = \frac{r_{23}^2}{(3-2) / (r_{13}^2 - 1)} \quad \text{بدرجات حرية } 1 ، 3 - 2 \quad (22)$$

مثال (١٢ - ٥) :

في دراسة للعلاقة بين ضغط الدم وكلوسترول الدم أخذت عينة عشوائية من
١٤٢ من السيدات كبار السن وقيس كل من ضغط الدم x_1 ودرجة تركيز
الكلوسترول x_2 والعمر x_3 ، ثم حسبت معاملات الارتباط البسيط لكل زوج
من هذه المتغيرات فوجدت كما يلي : $r_{12} = 0.2495$ ، $r_{13} = 0.3332$ ،
 $r_{23} = 0.5029$. ابحث دلالة معامل الارتباط بين ضغط الدم ودرجة تركيز
الكلوسترول (أولا) دون استبعاد متغير العمر ، (ثانيا) بعد استبعاد متغير
العمر .

الحل :

(أولا) معامل الارتباط بين ضغط الدم ودرجة تركيز الكلوسترول دون

استبعاد متغير العمر هو $r_{11} = 0,2490$ ونختبر دلالة هذا المعامل باستخدام الصيغة (٨) بالبند (١٠ - ٥) وهى :

$$t = \frac{r_{11} \sqrt{2 - n}}{\sqrt{r_{11}^2 - 1}} = \text{بدرجات حرية } n - 2$$

$$\text{أو الصيغة المكافئة } F = \frac{r_{11}^2}{(2 - n) / (r_{11}^2 - 1)} = \text{بدرجتي حرية } 1, n - 2$$

$$\text{لدينا : } t = 3,0486 = \frac{140 \sqrt{0,2490}}{\sqrt{(0,2490) - 1}} = \text{بدرجات حرية } 140$$

وهذه القيمة تزيد عن القيمة الحرجة $t_{0,01} [140] = 2,576$ فهى ذات دلالة عالية وتشير إلى وجود ارتباط خطي بين المتغيرين .

(ثانيا) معامل الارتباط بين ضغط الدم ودرجة تركيز الكلوسترول بعد استبعاد متغير العمر هو معامل الارتباط الجزئى r_{3-21} . من الصيغة (٢٠) نجد أن

$$r_{3-21} = \frac{0,2490 - 0,3332 \times 0,5029}{\sqrt{(0,2490 - 1)(0,3332 - 1)}} = 0,1233$$

ونختبر دلالة هذا المعامل من الصيغة (٢١) كالآتى :

$$t = \frac{0,1233 \sqrt{139}}{\sqrt{0,1233^2 - 1}} = 1,460 = \text{بدرجات حرية } 139$$

وهذه القيمة تقل عن القيمة الحرجة ت = ١,١٢٩١ = ١,١٩٨٠ فهي ليست بذات دلالة عند المستوى ٠,٠٥ ، وتشير إلى أنه حين نستبعد عامل العمر لا نستطيع الاستدلال على وجود ارتباط خطي بين ضغط الدم وكلوسترول الدم . هذا مع ملاحظة أن كلا من ضغط الدم ومقدار الكلوسترول في الدم يزداد بزيادة العمر ، ومن هنا نرى أن النتيجة التي حصلنا عليها في (أولا) كانت نتيجة مضللة .

معاملات الارتباط الجزئي من مراتب أعلى :

إن معامل الارتباط الجزئي من النوع ص_{١٢} - ص_{٣٤} يوصف بأنه معامل ارتباط جزئي من المرتبة الأولى of the first order لأنه يعطى معامل الارتباط بين متغيرين بعد استبعاد أثر متغير واحد من كل منهما . وبالمثل إذا كان لدينا أربعة متغيرات عشوائية ص_١ ، ص_٢ ، ص_٣ ، ص_٤ ، فإننا نرمز بالرمز ص_{٣٢-٢١} لمعامل الارتباط الجزئي بين المتغيرين ص_١ ، ص_٢ بعد استبعاد أثر المتغيرين ص_٣ ، ص_٤ من كل منهما ، ونصف هذا المعامل حينئذ بأنه معامل ارتباط جزئي من المرتبة الثانية . وبحسب هذا المعامل من معاملات الارتباط الجزئية من المرتبة الأولى كالآتي :

$$(٢٣) \quad \frac{\frac{r_{٤-٣٢} \cdot r_{٤-٣١} - r_{٤-٢١}}{(r_{٤-٣٢}^2 - 1)(r_{٤-٣١}^2 - 1)} = r_{٤٣-٢١}$$

أو كالآتي :

$$(٢٤) \quad \frac{\frac{r_{٣-٤٢} \cdot r_{٣-٤١} - r_{٣-٢١}}{(r_{٣-٤٢}^2 - 1)(r_{٣-٤١}^2 - 1)} = r_{٤٣-٢١}$$

ونختبر دلالة هذا المعامل من الصيغة :

$$ت = \frac{\sqrt{43-21} \sqrt{4-2}}{\sqrt{43-21} \sqrt{2-1}} =$$

بدرجات حرية ٢ - ٤ (٢٥)

ويمتد مفهوم معاملات الارتباط الجزئية لأى عدد منتهى ك من المتغيرات العشوائية التى تشترك فى توزيع معتدل متعدد المتغيرات . ومعامل الارتباط الجزئى من المرتبة ٢ (حيث ٢ > ك - ٢) هو معامل الارتباط بين اثنين من المتغيرات بعد استبعاد أثر ٢ من المتغيرات العشوائية الأخرى . ويعتمد حساب معامل الارتباط الجزئى من المرتبة ٢ على معاملات الارتباط الجزئية من المرتبة السابقة عليها أى من المرتبة ٢ - ١ . هذا ويجدر بنا ملاحظة التماثل فى صيغ هذه المعاملات . أما اختبار دلالة معامل الارتباط الجزئى من المرتبة ٢ فهو تعميم للصيغتين (٢١) ، (٢٥) ويأخذ الصيغة الآتية :

$$ت = \frac{\sqrt{3-2-2} \sqrt{2-2-2}}{\sqrt{3-2-2} \sqrt{2-2-2}} =$$

بدرجات حرية ٢ - ٢ - ٢ (٢٦)

حيث ٣ هو معامل الارتباط الجزئى من المرتبة ٢ .

تمارين (١٢ - ٢)

(١) فى عينة عشوائية من ٣٠ وحدة من مجتمع معتدل ذى ثلاثة متغيرات وجد أن معامل الارتباط المتعدد $\rho_{123} = ٠,٥$. بين أن هذه القيمة تدل على وجود ارتباط فى المجتمع بين المتغير ١ والمتغيرين ٢ ، ٣ مستخدما مستوى الدلالة ٠,٠٥

(٢) في عينة عشوائية حجمها ٣٩ من مجتمع معتدل ذي ثلاثة متغيرات وجد أن معاملات الارتباط البسيط بين أزواج هذه المتغيرات هي $r_{12} = 0,28$ ، $r_{13} = 0,49$ ، $r_{23} = 0,51$ أثبت أن $r_{12} = 0,445$ ، $r_{13} = 0,42$ واختبر دلالة كل منهما .

(٣) بين أن معامل الارتباط الجزئي من المرتبة الثانية والذي قيمته $r_{12.3} = 0,5$ المحسوب من عينة عشوائية حجمها ٢٠ من مجتمع معتدل ذي أربعة متغيرات يكون ذا دلالة عند المستوى $0,05$

(٤) في عينة عشوائية من ٥٤ من السيدات حسبت المقادير المستهلكة في فترة ما من نوعين من الغذاء هما البروتين (ص_١) والدهون (ص_٢) كما حسب العمر ص_٣ وقد وجدت معاملات الارتباط البسيط الآتية :

$r_{12} = 0,5784$ ، $r_{13} = 0,4865$ ، $r_{23} = -0,5296$ أوجد معامل الارتباط الجزئي بين استهلاك البروتين واستهلاك الدهون مستقلا عن أثر العمر ، واختبر دلالته عند المستوى $0,01$

الفصل الثالث عشر

دالة التمييز

DISCRIMINANT FUNCTION

يتناول هذا الفصل المشكلة الآتية . نفرض أن باحثا يبحث مجتمعين A ، B يشتركان بدرجات متفاوتة في بعض الخواص التي يمكن قياسها عدديا . إذا كان لدى الباحث عينة عشوائية يعلم أنها من أحد هذين المجتمعين ولكنه لا يعلم ما إذا كانت من المجتمع A أو من المجتمع B ، وإذا كان الباحث قد قام بقياس وحدات هذه العينة من حيث k من تلك الخواص وحصل على القيم العددية s_1 ، s_2 ، s_3 ، s_4 ، s_5 ، s_6 ، s_7 ، s_8 ، s_9 ، s_{10} ، فكيف يستخدم هذه القيم لتحديد المجتمع الذي تنتمي إليه العينة ؟

فمثلا إذا قامت إحدى شركات التنقيب عن البترول بحفر بئر ووجدت منطقة رملية على عمق ٤٠٠٠ قدما فكيف تقرر عن طريق قياس بعض الخواص الجيوفيزيائية لعينة مأخوذة من هذه المنطقة ما إذا كانت المنطقة تحتزن بترولا (المجتمع A) فتستمر في الحفر ، أو لا تحتزن بترولا (المجتمع B) فتتوقف عن الحفر ؟ كذلك إذا كانت إحدى الكليات تقوم بفحص الطلاب المتقدمين إليها فكيف تميز بين الطلاب الذين يصلحون للدراسة فيها (المجتمع A) والطلاب الذين لا يصلحون لذلك (المجتمع B) عن طريق إجراء بعض الاختبارات العلمية والنفسية على الطلاب ؟

(١٣ - ١) دالة التمييز :

إن مثل هذه المشكلات تحل عن طريق إيجاد دالة $D(s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10})$ ،

س) في المتغيرات التي تعبر عن تلك الخواص ، وعدد د. يقسم قيم هذه الدالة إلى جزئين بحيث إذا كانت قيمة هذه الدالة عند القياسات المشاهدة في عينة ما أصغر من العدد د. تكون العينة من المجتمع أ وإذا كانت أكبر من أو تساوى العدد د. تكون العينة من المجتمع ب ، مع بيان احتمال الخطأ في هذا التقسيم . وتسمى هذه الدالة حينئذ بدالة التمييز كما يسمى العدد د. بالنقطة الحدية boundary point .

فمثلا في حفر بئر البترول قد تكون دالة التمييز هي :

د (س_١ ، س_٢ ، س_٣ ، س_٤ ، س_٥) = س_٢ - س_١ - س_٣ + س_٤ - س_٥ ، س_٥ ، س_٤ ، س_٣ ، س_٢ ، س_١ والعدد د. = ٢٦ بحيث إذا كانت قيمة هذه الدالة لقياسات أخذت على وحدات عينة ما أصغر من ٢٦ يستمر الحفر (المجتمع أ) وإذا كانت أكبر من أو تساوى ٢٦ يتوقف الحفر (المجتمع ب) . نفرض مثلا أن القيم المشاهدة للخواص الخمسة في إحدى العينات هي على الترتيب ٣٠ ، ١٢٠ ، ١٠ ، ١٦ ، ٢٠٠ . بالتعويض بهذه القيم في دالة التمييز نجد أن د (٣٠ ، ١٢٠ ، ١٠ ، ١٦ ، ٢٠٠) = ٣٨ وبما أن ٣٨ أكبر من ٢٦ تكون العينة من المجتمع ب ويتوقف الحفر .

(١٣ - ٢) إيجاد دالة التمييز :

كيف نعد الدالة د والعدد د. لتكون جاهزة للتطبيق على عينات يراد معرفة المجتمع الذي تنتمي إليه ؟ الطريق إلى ذلك ما يلي :

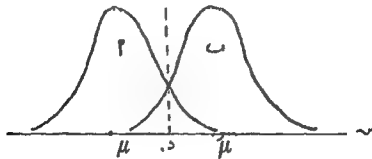
نأخذ عينة عشوائية حجمها س_١ من المجتمع الأول وعينة عشوائية حجمها س_٢ من المجتمع الثاني ، ونحدد ك من الخواص التي نرى أنها ذات تأثير في التمييز بين المجتمعين (ك > س_١ ، ك > س_٢) ثم نقيس كل وحدة من وحدات العينتين من حيث هذه الخواص فتكون القياسات الناتجة وعددها (س_١ + س_٢) ك هي الأساس الذي نبني عليه دالة التمييز كما سيتبين بعد . فمثلا إذا كانت ك = ٤ تكون البيانات كما في الجدول (١٣ - ١) الآتي :

الجدول (١٣ - ١)

عينة المجتمع الأول					عينة المجتمع الثاني				
س _١	س _٢	س _٣	س _٤	س _٥	س _١	س _٢	س _٣	س _٤	س _٥
١	١١	٢١	٣١	٤١	١	١١	٢١	٣١	٤١
٢	١٢	٢٢	٣٢	٤٢	٢	١٢	٢٢	٣٢	٤٢
٣	٠٠	٠٠	٠٠	٠٠	٣	٠٠	٠٠	٠٠	٠٠
٤	٠٠	٠٠	٠٠	٠٠	٤	٠٠	٠٠	٠٠	٠٠
٥	١,٥	٢,٥	٣,٥	٤,٥	٥	١,٥	٢,٥	٣,٥	٤,٥
المتوسط	س _١	س _٢	س _٣	س _٤	المتوسط	س _١	س _٢	س _٣	س _٤

(أولاً) : حالة متغير واحد :

لتقديم الفكرة التي تؤسس عليها دالة التمييز ، نبدأ بالحالة التي يكون لدينا فيها متغير واحد x (ك = ١) . سنفترض أن لهذا المتغير توزيعاً معتدلاً بمتوسط μ للمجتمع الأول ، μ' للمجتمع الثاني ، أما التباين فقيمته واحدة للمجتمعين وقدرها σ^2 . يمثل هذان التوزيعان كما في الشكل (١٣ - ١) الآتي .



الشكل (١٣ - ١)

نفرض أن s هي قيمة المتغير s التي وجدناها في عينة نعلم أنها من أحد المجتمعين ونريد تحديد المجتمع الذي تنتمي إليه العينة . إن دالة التمييز هنا تكون على الصورة $d(s) = s$. من الطبيعي أن نأخذ متوسط المجتمعين $d = \frac{1}{2}(\mu + \bar{\mu})$ كنقطة حدية تستخدم للفصل بينهما . وإذا فرضنا أن μ أصغر من $\bar{\mu}$ فإن قاعدة التمييز تكون كالآتي :

إذا كان $s > \frac{1}{2}(\mu + \bar{\mu})$ نقرر أن العينة من المجتمع أ

وإذا كان $s \leq \frac{1}{2}(\mu + \bar{\mu})$ نقرر أن العينة من المجتمع ب
ونتساءل الآن متى يكون قرارنا خاطئاً ؟ إن هذا الخطأ يقع حين تكون العينة في الواقع من المجتمع أ ويكون قرارنا أنها من المجتمع ب وهذا يحدث حيناً
(مع أن العينة من المجتمع أ) $s \leq \frac{1}{2}(\mu + \bar{\mu})$

$$\text{أى حيناً } \frac{\mu - \bar{\mu}}{\sigma \sqrt{2}} = \frac{\mu - (\bar{\mu} + \mu)\frac{1}{2}}{\sigma} \leq \frac{\mu - s}{\sigma}$$

$$\text{أى حيناً } \frac{\delta}{\sigma \sqrt{2}} \leq \epsilon$$

$$(1) \quad \mu - \bar{\mu} = \delta , \quad \frac{\mu - s}{\sigma} = \epsilon \quad \text{حيث}$$

$$(2) \quad \left(\frac{\delta}{\sigma \sqrt{2}} \leq \epsilon \right) \quad \text{واحتمال هذا الخطأ هو ل } \left(\frac{\delta}{\sigma \sqrt{2}} \leq \epsilon \right)$$

ويسمى هذا الاحتمال باحتمال خطأ التقسيم . ونحصل على نفس قيمة هذا الاحتمال حين تكون العينة من المجتمع ب ونقرر أنها من المجتمع أ . تحقق من ذلك .

ولما كانت σ تتبع التوزيع المعتدل القياسي فإننا نستطيع إيجاد هذا الاحتمال من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل القياسي .

ويلاحظ أنه إذا كان المتوسطان μ ، μ_k متساويين أو متساويين تقريبا فإن $\frac{\delta}{\sigma^2}$ تكون تقريبا مساوية للصفر ويكون احتمال خطأ التقسيم مساويا بالتقريب

للنسبة ٥٠٪ ومعنى هذا أن التقسيم عشوائيا وفي هذه الحالة لا يكون هناك جدوى من إيجاد دالة صالحة للتمييز بين المجتمعين . كما يلاحظ أن احتمال خطأ التقسيم يكون أصغر ما يمكن إذا كانت $\left| \frac{\mu - \mu_k}{\sigma} \right| = \left| \frac{\delta}{\sigma} \right|$ أكبر ما يمكن أى إذا كانت

القيمة الموجبة لنسبة الفرق بين متوسطى المجتمعين إلى الانحراف المعيارى المشترك أكبر ما يمكن ، وتستخدم هذه الحقيقة كأساس لاشتقاق أفضل دالة للتمييز بين المجتمعين .

(ثانيا) : حالة k من المتغيرات :

نأتى الآن للحالة التى يكون لدينا فيها k من المتغيرات $s_1, s_2, s_3, \dots, s_p$ ، كما سبق القول ، للتوصل إلى دالة التمييز نأخذ عينة عشوائية من كلا المجتمعين ونقيس قيم هذه المتغيرات لكل وحدة من وحدات العينتين فتكون البيانات الناتجة هى الأساس الذى نبني عليه إنشاء أفضل دالة تمييز كما يتبين بعد .

لإمكانية التحليل الاحصائى سنضع الافتراضات الثلاثة الآتية .

الفراضات التحليل :

(١) دالة التمييز خطية أى على الصورة

$$D(s) = \alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2 + \dots + \alpha_p s_p$$

$$(٣) \quad \sum_{j=1}^p \alpha_j s_j = c$$

حيث $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ بارامترات مجهولة مطلوب تقديرها من العينتين بشرط أن نحصل من هذه التقديرات على أقل احتمال لخطأ التقسيم .

(٢) المتغيرات x_1, x_2, \dots, x_p هي متغيرات عشوائية توزيعها المشترك هو توزيع معتدل متعدد (ذو k من المتغيرات) سواء في المجتمع A أو في المجتمع B . وتأخذ متوسطات هذه المتغيرات القيم $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$ في المجتمع الأول ، والقيم $\mu'_1, \mu'_2, \dots, \mu'_p$ في المجتمع الثاني . أما التباين σ^2 لأي متغير x_i والذي سنرمز له بالرمز σ_i فهو واحد في المجتمعين وتختلف التباينات من متغير إلى آخر ، كما أن التباين σ_i ($i \neq j$) لمتغيرين x_i, x_j يكون واحدا في المجتمعين وتختلف التباينات بين كل زوج وآخر من المتغيرات .

من هذا الافتراض ينتج أن دالة التمييز المعرفة في (٣) تكون ذات توزيع معتدل لأنها خطية في متغيرات معتدلة . هذا مع تذكر أن اعتدالية التوزيع المتعدد المشترك تتضمن اعتدالية كل متغير على حدة .

(٣) العينات التي تؤخذ من كل مجتمع هي عينات عشوائية .

لايجاد أفضل تقدير لدالة التمييز المعرفة في (٣) من أزواج العينات ينبغي أن نقدر البارامترات $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ بأعداد a_1, a_2, \dots, a_p تجعل الدالة χ^2 ذات أقل خطأ ممكن للتقسيم . وهذا الشرط كما جاء في حالة المتغير الواحد يكافئ أن تكون النسبة $\left| \frac{\delta}{\sigma} \right|$ أكبر ما يمكن حيث δ, σ هنا تعرفان كالآتي :

δ = الفرق الكلي بين المتوسطات المتناظرة في المجتمعين مرجحة بالمعاملات α_i

$$= \sum_1^p \alpha_i (\mu_i - \mu'_i)$$

$$= \sum_1^p \alpha_i \delta_i \quad \text{حيث} \quad \delta_i = \mu_i - \mu'_i \quad (٤)$$

$\sigma^2 =$ التباين الكلى للدالة (٣) وهى $\alpha \alpha^T$

$$(٥) \quad \frac{\partial}{\partial \alpha} \sigma^2 = \frac{\partial}{\partial \alpha} \alpha \alpha^T = 2\alpha$$

فمثلا إذا كانت $\alpha = 3$ فإن

$$(\bar{\mu}_1 - \mu_1)\alpha + (\bar{\mu}_2 - \mu_2)\alpha + (\bar{\mu}_3 - \mu_3)\alpha = \delta$$

$$\begin{aligned} \sigma_1^2 \alpha + \sigma_2^2 \alpha + \sigma_3^2 \alpha &= \sigma^2 \\ \sigma_1^2 \alpha + \sigma_2^2 \alpha + \sigma_3^2 \alpha &= \sigma^2 \end{aligned}$$

المطلوب إذن إيجاد التقديرات α بحيث تكون القيمة المطلقة $\left| \frac{\delta}{\sigma} \right| = \Delta$

أكبر ما يمكن حيث δ ، σ معرفتان فى (٤)، (٥). ولتجنب الإشارات سنأخذ $\frac{\delta}{\sigma} = \Delta$ بدلا من Δ . أى أننا سنقدر البارامترات بالقيم التى تجعل الدالة

الآتية أكبر ما يمكن :

$$\sigma^2 \alpha \alpha^T / (\delta \alpha) = \frac{\delta}{\sigma} = \Delta$$

$$(٦) \quad \sigma^2 \alpha \alpha^T / (\delta \alpha) = \frac{1}{2 - \alpha + \alpha^2} / (\delta \alpha) =$$

حيث $\alpha_{\text{م}} = \text{مجموع المربعات للمتغير م في المجتمعين (م = ١ ، ٢ ، ... ، ٠٠٠)}$ (ك)

$\alpha_{\text{م}} = \text{مجموع حواصل الضرب للمتغيرين م ، م في المجتمعين .}$
وتعظيم الدالة (٦) يكافئ تعظيم الدالة

$$(٧) \quad (\alpha_{\text{م}} \delta_{\text{م}}) / \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}}$$

التي لا تختلف عنها إلا في المقدار الثابت $\alpha_{\text{م}} + \alpha_{\text{م}} - ٢$. ويقتضى هذا التعظيم إجراء التفاضل الجزئي لهذه الدالة بالنسبة إلى كل من $\alpha_{\text{م}} ، \alpha_{\text{م}} ، \alpha_{\text{م}} ، \alpha_{\text{م}} ، \dots$ ، والمساواة بالصفر . وهذا يؤدي إلى الحصول على ك من المعادلات الخطية في ك من المجاهيل تشبه المعادلات المعتادة في الانحدار الخطي ، فهي تأخذ الصورة الآتية :

$$\delta_{\text{م}} = \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} + \dots + \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} + \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}}$$

$$\delta_{\text{م}} = \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} + \dots + \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} + \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}}$$

$$(٨) \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

$$\delta_{\text{م}} = \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} + \dots + \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}} + \alpha_{\text{م}} \alpha_{\text{م}}$$

والقيم ١ ، ١ ، ٠ ، ٠ ، ٠ ، ٠ التي تحقق هذه المعادلات جميعا تكون هي التقديرات المطلوبة للبارامترات $\alpha_{\text{م}} ، \alpha_{\text{م}} ، \alpha_{\text{م}} ، \alpha_{\text{م}} ، \dots$ وبالتالي تكون دالة التمييز هي :

$$(٩) \quad \alpha_{\text{م}} + \alpha_{\text{م}} + \dots + \alpha_{\text{م}} + \alpha_{\text{م}}$$

هذا مع ملاحظة أن مجاميع المربعات ومجاميع حواصل الضرب تقدر من العيتين كالآتي :

$\Sigma_{11}^2 = \text{مجموع المربعات لقيم المتغير } x_1 \text{ في العينة الأولى} + \text{مجموع المربعات لقيم نفس المتغير في العينة الثانية} .$

وبالمثل لمجاميع المربعات الأخرى $\Sigma_{22}^2, \Sigma_{33}^2, \dots, \Sigma_{kk}^2$

$\Sigma_{21}^2 = \text{مجموع حواصل الضرب للمتغيرين } x_1, x_2 \text{ في العينة الأولى} + \text{مجموع حواصل الضرب لنفس المتغيرين في العينة الثانية}$

وبالمثل لمجاميع حواصل الضرب الأخرى $\Sigma_{31}^2, \dots, \Sigma_{k1}^2$ ($k \neq 1$)

أما التباينات والتغايرات فنحصل عليها بالقسمة على درجات الحرية وهي $\Sigma_{11}^2 + \Sigma_{22}^2 + \dots + \Sigma_{kk}^2$.

وإيجاد هذه القيم ثم حل المعادلات (٨) يحتاج إلى الحاسب الالكتروني توفيراً للجهد وضماناً للدقة والسرعة .

النقطة الحدية :

كما في حالة المتغير الواحد ، من الطبيعي أن نأخذ متوسط المجتمعين كنقطة حدية تفصل بينهما ، وعلى ذلك تقدر النقطة الحدية د. من العيتين كالآتي :

$$د. = \frac{1}{\Sigma} \left(\Sigma_{11}^2 + \Sigma_{22}^2 + \dots + \Sigma_{kk}^2 \right) \quad (١٠)$$

وهكذا نكون قد حصلنا على دالة التمييز (٩) والقيمة الحدية (١٠) . فإذا حصلنا على قياسات $\Sigma_{11}, \Sigma_{22}, \dots, \Sigma_{kk}$ لعينة جديدة ، يمكن بالتعويض بهذه القياسات في الدالة (٩) ثم المقارنة بالعدد د. أن نقرر ما إذا كانت العينة تنتمي إلى المجتمع أ أو إلى المجتمع ب .

احتمال خطأ التقسيم PROBABILITY OF MISCLASSIFICATION

يبقى أن نقدر احتمال خطأ التقسيم لدالة التمييز التي أوجدناها . وكما في حالة المتغير الواحد تكون أكبر قيمة لهذا الاحتمال هي المعطاة بالصيغة (٢) وهي :

$$(١١) \quad \delta \leq \epsilon \quad \text{ل} \quad \left(\frac{\delta}{\sigma} \right)^2$$

حيث δ ، σ تعطيان بالصيغتين (٤) ، (٥) ، ويمكن إثبات أن $\frac{\delta}{\sigma}$ تقدر من العيتين

كما يلي :

$$(١٢) \quad \frac{\delta}{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2} (2 - \sqrt{1 + 4 \frac{\sigma^2}{\delta^2}})} \quad \text{حيث} \quad \sigma^2 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \quad (١٢)$$

، σ_1 الوسط الحسابي للمتغير x_1 في العينة الأولى ،

، σ_2 الوسط الحسابي للمتغير x_2 في العينة الثانية .

والاحتمال (١١) يمكن إيجاده من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل القياسي وهو يشير إلى درجة الثقة في دالة التمييز ، ويعتبر التقسيم جيدا بدرجة عالية إذا لم يزد هذا الاحتمال عن ٧٪ .

ملاحظات :

(١) إذا كانت دالة التمييز هي د (x_1 ، x_2 ، ... ، x_n) والقيمة الحدية

د ، وحسبنا من أزواج العينات القيمتين د (x_1 ، x_2 ، ... ، x_n) ،

د (س٢٢ ، س٢٣ ، ٠٠٠ ، س٢٤) فينبغي أن تكون إحدى هاتين القيمتين أكبر من د .
والأخرى أصغر منها .

(٢) إذا كان كل زوج من متوسطات المجتمعين متساويين (ملمر = ملمر) أو متساويين تقريبا فلا أمل في العثور على دالة تميز بين المجتمعين بكفاءة . ولهذا نجب العناية باختيار المتغيرات التي تستخدم في دوال التمييز بحيث تكون هناك فروق معقولة بين متوسطاتها .

(٣) استخدام الحاسب الآلي في هذه الدراسة أمر ضروري لسرعة ودقة ما نريد التوصل إليه ، وخاصة وأننا نضطر في كثير من الحالات إلى تجربة مجموعات مختلفة من المتغيرات لاختيار الأصلح منها . وهذا يتطلب مشقة كبيرة يغنيها عنها الحاسب .

مثال (١٣ - ١) :

في دراسة لتوزيع بكتريا النيتروجين *Azotobacter* في التربة كان المطلوب معرفة مدى دقة التنبؤ بوجود أو عدم وجود هذه البكتريا في التربة ، أو بمعنى آخر المطلوب إيجاد دالة خطية تميز التربة التي تحتوي على هذه البكتريا من التربة التي لا تحتوي عليها ، وذلك باستخدام ثلاث خواص كيميائية للتربة هي :

س = الأس الأندروجيني pH ، س٢ = كمية الفوسفات الموجودة ،
س٣ = المحتوى الكلي للنيتروجين . وقد أخذت عينة عشوائية حجمها ١ = ١٠٠ من تربة لا تحتوي على هذه البكتريا وعينة عشوائية حجمها ٢ = ١٨٦ من تربة تحتوي عليها . وقيست كل وحدة من وحدات العينتين من حيث هذه الخواص الثلاث وحسبت الفروق ف٢ = س٢ - س٢ ، بين أزواج المتوسطات في العينتين فوجدت كما يلي :

$$١ = ٠,١٤٠٨ ، ٢ = ٠,٠٨٢١ ، ٣ = ٠,٠٨٢٦$$

وحسبت مجاميع المربعات $\sum_{i=1}^n$ لكل من المتغيرات الثلاثة ، ومجاميع حواصل الضرب $\sum_{i=1}^n$ لأزواج المتغيرات فوجدت كما يلي :

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = 1,111 , \sum_{i=1}^n y_i^2 = 1,043 , \sum_{i=1}^n z_i^2 = 2,942$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = 0,229 , \sum_{i=1}^n x_i z_i = 0,198 , \sum_{i=1}^n y_i z_i = 0,051$$

وبذلك كانت المعادلات المعتادة كالآتي :

$$1,111 = 0,198 \alpha + 0,229 \beta + 0,1408 \gamma$$

$$0,229 = 0,198 \alpha + 1,043 \beta + 0,0821 \gamma$$

$$0,198 = 0,198 \alpha + 0,051 \beta + 2,942 \gamma$$

أستخدم الحاسب الالكتروني في حل هذه المعادلات فأتت القيم الآتية :

$$\alpha = 0,11229 , \beta = 0,05310 , \gamma = 0,01960 \text{ وبذلك كانت دالة التمييز هي :}$$

$$D(\alpha, \beta, \gamma) = 0,11229 \alpha + 0,05310 \beta + 0,01960 \gamma$$

ويمكن حساب النقطة الحدية د. من الصيغة (١٠) .

نقدر أكبر احتمال لخطأ التقسيم بهذه الدالة كما يلي :

$$\alpha = 0,11229 \times 0,1408 + 0,05310 \times 0,0821 + 0,0196 \times 0,198 = 0,02179$$

$$\text{من (١٢) : قيمة } \frac{\delta}{\sigma} \text{ مقدرة من العينة} = \sqrt{0,02179 \times (2 - 186 + 100)}$$

$$2,4876 =$$

$$\text{من (١١) أكبر احتمال لخطأ التقسيم } J = \left(\frac{\delta}{\sigma^2} \leq \epsilon \right)$$

$$J = (1,2438 \leq \epsilon)$$

$$= 10,75 \% \text{ (من جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل القياسي)}$$

قد يكون من المناسب مقارنة هذا الاحتمال باحتمال خطأ التقسيم الناشئ من دالة تمييز استخدمت واحدا فقط من المتغيرات الثلاث .

نفرض أننا استخدمنا المتغير σ فقط . لدينا :

$$\text{فـ } = 0,1408 \text{ وهذه تقدير لقيمة } \delta$$

$$\text{الانحراف المعياري} = \sqrt{\frac{1}{2 - 186 + 100}} = \sqrt{\frac{1,111}{284}} = 0,0625$$

وهذا تقدير σ .

$$\therefore J = \left(\frac{\delta}{\sigma^2} \leq \epsilon \right) = \left(\frac{0,1408}{0,0625 \times 2} \leq \epsilon \right) = J = (1,126 \leq \epsilon)$$

$$= 12,92 \%$$

وإذا استخدمنا المتغير \bar{y} فقط نجد بنفس الطريقة ما يلي :

$$J = \left(\frac{\delta}{\sigma^2} \leq \epsilon \right) = (0,58 < \epsilon) = 0,28,1$$

أما إذا استخدمنا المتغير \bar{y} فقط فإن

$$J = \left(\frac{\delta}{\sigma^2} \leq \epsilon \right) = (0,41 \leq \epsilon) = 0,34,0,9$$

ويتضح أن أفضل دالة تمييز تؤسس على متغير واحد فقط هي تلك التي تستخدم المتغير \bar{y} ويلها تلك التي تستخدم المتغير \bar{y} ثم تلك التي تستخدم المتغير \bar{y} وهذه الأخيرة تكون دالة ضعيفة للغاية لا يجوز الاعتماد عليها . على أن دالة التمييز المركبة من المتغيرات الثلاثة معا هي أفضلها جميعا .

(١٣ - ٣) اختبار تساوى أزواج المتوسطات - اختبار ت^٢ .

كما سبق الذكر في الملاحظة (٢) بالبند السابق ينبغي أن تكون المتغيرات التي تستخدم في إعداد دالة التمييز هي تلك المتغيرات الأكثر قدرة على التمييز بين المجتمعين أى التي تختلف متوسطاتها في المجتمعين اختلافا معقولا . ولذلك يهمننا في اختبار هذه المتغيرات أن نبحث دلالة الفروق بين أزواج المتوسطات في العينتين ، فإذا كانت هذه الفروق ليست ذات دلالة بمعنى أن أزواج المتوسطات في المجتمعين متساوية ، لا تكون دالة التمييز قادرة على فصل المجتمعين . أما إذا كانت تلك الفروق جوهرية فإن فرصة دالة التمييز في تقسيم المجتمعين بكفاءة تكون كبيرة . وهناك اختبار ابتكره هوتلنج Hotelling يسمى اختبار ت^٢ يمكننا من اختبار

فرض الصفري المركب عن تساوى كل زوج من المتوسطات ، أى اختبار الفرض صفري :

لمر = ملكر لجميع مر = ١ ، ٢ ، ... ، ك
يعتمد هذا الاختبار على تحليل التباين للمتغير مح المر سر إلى مركبتين : « بين »
« داخل » المجتمعين كالآتى :

$$٢١ (داخل العينات) = \frac{\sum_{i=1}^K \bar{x}_i^2}{K} - \frac{\sum_{i=1}^K x_i^2}{N}$$

$$= مح المر في درجات حرية ١ + ٢ - ك - ١ (١٤)$$

تنتج الصيغة الأخيرة من ضرب المعادلات (٨) في $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ ثم
لجمع مع وضع المر بدلا من α ، فير بدلا من δ .

$$٢٢ (بين العينات) = \frac{\sum_{i=1}^K \bar{x}_i^2}{K} - \frac{\sum_{i=1}^K x_i^2}{N} = مح المر في درجات حرية ك (١٥)$$

قد أخذت ك كدرجة الحرية بين العينات لأن التقديرات المر اختبرت على أساس
عظيم النسبة بين ٢٢ (بين العينات) ، ٢٢ (داخل العينات) .

في المثال السابق نجد ما يلى :

$$٢٢ (داخل العينات) = مح المر في$$

$$= ٠,٠٢١٧٩ (سبق حسابه) بدرجات حرية ٢٨٢$$

$$٢٢ \text{ (بين العينات) } = \frac{٢٧ + ١٧}{٢٧ + ١٧} \text{ (محرار في)}^٢$$

$$٢(٠,٠٢١٧٩) \frac{١٨٦ \times ١٠٠}{٢٨٦} =$$

بدرجات حرية ٣

$$٠,٠٣٠٨٨ =$$

وينشأ لدينا جدول التباين الآتي .

الجدول (١٣ - ٢)

تحليل التباين لدالة التمييز - اختبارات^٢

ط م	درجات الحرية	٢ ٢	مصدر التباين
٠,٠١٠٢٩	ك = ٣	$٠,٠٣٠٨٨ = \frac{٢٧ + ١٧}{٢٧ + ١٧} \text{ (محرار في)}^٢$	بين نوعي التربة
	$٢٧ + ١٧$	محرار في = $٠,٠٢١٧٩$	داخل نوعي التربة
٠,١٠٠٠٧٧	ك-١=٢٨٢		

$$\text{في} = ٠,١٠٢٩ \div ٠,١٠٠٠٧٧ = ١٣٣,١^{**}$$

هذه القيمة أكبر بكثير من القيمة الحرجة ف $٠,٠١$ [٢٨٢,٣] التي لا تزيد عن ٣,٧٨ فهي ذات دلالة عالية وتدعونا إلى رفض الفرض الصفري عن تساوي أزواج المتوسطات في المجتمعين ، وهذا ما يجب أن يكون إذا كانت دالة التمييز ذات كفاءة في فصل المجتمعين .

يلاحظ أنه إذا ظهر أن فـ غير ذات دلالة فإن دالة التمييز تفشل في فصل المجتمعين وينبغي حينئذ البحث عن متغيرات أخرى أو البحث عن دالة أخرى غير خطية فيما لدينا من متغيرات .

(١٣ - ٤) استخدامات دالة التمييز :

إن دالة التمييز هي وسيلة لدراسة مدى تداخل المجتمعات في بعضها أو مدى تباعدها عن بعضها . وهذه الدالة ثلاثة أنواع من الاستخدامات تلخص فيما يلي :

(١) التقسيم والتشخيص :

يتبين هذا الهدف من المثال المقدم في بداية هذا الفصل حيث استخدمت دالة للتمييز بين المناطق التي تحتوي بترولاً والمناطق التي لا تحتوي عليه مستعينة بخمسة متغيرات جيوفيزيائية ، وكذلك من المثال (١٣ - ١) حيث أعدت دالة في ثلاثة متغيرات كيميائية تقسم التربة إلى نوعين يحتوي أحدهما على بكتريا النتروجين ولا يحتوي الآخر عليها . كذلك إذا كان هناك نوعان من الحمى يشابهان في الأعراض فمن المفيد أن يكتشف الطبيب القياسات الجسمية والمعملية التي تساعده على التمييز بين نوعي الحمى وأن يعرف الطريقة المثلى لضم هذه القياسات في دالة واحدة ، وكيفية تقدير درجة الثقة في تشخيص المرض .

(٢) دراسة العلاقات بين المجتمعات :

فمثلاً ، إلى أي مدى تختلف الاتجاهات والاستعدادات النفسية للمهندس الكفاء عنها في رجل الأعمال الكفاء ؟ أو هل يختلف المدخنون عن غير المدخنين اختلافاً جوهرياً في السمات النفسية والعادات السلوكية ؟

(٣) تصميم لاختبارات :

إذا أجرينا عدة قياسات على كل من عيتين عشوائيتين أخذتا من مجتمعين محتلين ورغبنا في استخدام اختبار واحد للفرض الصفري عن تساوي متوسطات

هذين المجتمعين بالنسبة لجميع هذه القياسات فإن دالة التمييز تمكننا من ذلك عن طريق اختبار ت^٢ كما جاء بالبند السابق .

هذا وتجدر الإشارة إلى أن الدراسة التي قدمت في هذا الفصل عن دالة التمييز تمتد إلى الحالات التي تتناول أكثر من مجتمعين ، كما تمتد إلى الحالات التي تكون فيها دالة التمييز غير خطية .

الفصل الرابع عشر

الطرق غير البارامترية

NONPARAMETRIC METHODS

إن معظم اختبارات الفروض التي جاءت في الفصول السابقة كانت تتطلب افتراض أن للمجتمع الذى نعين منه توزيعاً معتدلاً أو يمكن تقريبه بتوزيع معتدل ، كما أن بعضها كان يتطلب افتراضات أخرى مثل تساوى التباينات أو استقلال العينات . وجدير بالذكر أن هذه الاختبارات يمكن الاطمئنان إليها حتي لو وجدت انحرافات بسيطة عن هذه الافتراضات غير أن هناك مواقف يستحيل فيها قبول مثل هذه الافتراضات ولهذا كان من الضروري أن تنشأ أساليب أخرى تبني على افتراضات أقل صرامة . وقد عرفت هذه الأساليب بالطرق غير البارامترية أو بالطرق حرة التوزيع distribution-free methods وهى طرق يمكن تطبيقها على مدى واسع من التوزيعات دون أن تفترض توزيعاً محدداً لما تتناوله من مجتمعات . وتوصف هذه الطرق بأنها غير بارامترية لأن أغلبها لا يهتم باختبار أو تقدير بارامترات (أدلة) المجتمع .

وفضلاً عن أن الطرق والاختبارات غير البارامترية تستخدم تحت شروط عامة للغاية وتعقيداً من القلق عن صحة الافتراضات فهى تتميز بعدة أمور منها :

(١) أنها عادة ما تكون أسهل في الفهم والتفسير من تلك الطرق القياسية التي تعمل كبديل لها .

- (٢) أن ما تتطلبه من عمليات حسابية تكون عادة سهلة وسريعة .
(٣) أنها لا تشترط أن تكون البيانات كمية (عددية) بل يمكن أن تكون نوعية أو ترتيبية .

ولهذا شاع استخدام الطرق غير البارامترية بالرغم من أنها لا تعطى نفس القدر من المعلومات أو الدقة التي تعطيها الطرق البارامترية المناظرة لها فهي بصفة عامة أقل كفاءة منها . وإذا وجد موقف يمكن فيه تطبيق كلا الأسلوبين فينبغي دائماً استخدام الأسلوب البارامترى فهو الأكثر كفاءة .

وقد مررنا مثالان للاختبارات غير البارامترية جاء أحدهما بالبند (٦ - ٧) عند استخدام اختبار χ^2 ، وجاء الآخر في البندين (١٠ - ٧) و (١٠ - ٨) عند دراسة معامل ارتباط الرتب (سبيرمان) ودلالته ، ونقدم فيما يلي ستة من الاختبارات الأخرى الشهيرة .

(١٤ - ١) اختبار التلاحقات (للكشف عن عشوائية العينة) : RUNS TEST

إن جميع طرق الاستدلال الإحصائي التي نوقشت في الفصول السابقة بنيت على افتراض أن العينات عشوائية وعلى أن التجارب التي نحصل منها على البيانات صممت على هذا الأساس . غير أن هناك حالات يصعب فيها تحديد مدى تحقق هذا الافتراض وينبغى حينئذ اختبار عشوائية العينة قبل التصدى لتحليل البيانات .

وتظهر هذه الحالات بصفة خاصة عندما نكون عاجزين كلياً أو جزئياً عن التحكم في اختيار العينة . فمثلاً في تقدير معدل الوفاة من مرض معين لا مفر من الاعتماد على سجلات سابقة وهذه لا تشكل عينة عشوائية بالمعنى الدقيق . كذلك الحال حين لا يكون لنا خيار إلا الاعتماد على أى سجلات متاحة لإعطاء تنبؤات عن الأحوال الجوية أو دراسة حوادث المرور أو حين نأخذ وحدات صناعية بحسب ترتيب إنتاجها .

التوزيع المعتدل هو توزيع لتغير متصل فإن الصيغة (٣) تصحح كالاتي تعويضاً عن هذا الاختلاف .

$$\bar{m} = \frac{m - (\frac{1}{2} - \frac{1}{4})}{\sigma} \quad (٤)$$

وتؤخذ العلامة السالبة إذا كان عدد التلاحقات (س) في العينة يزيد عن الوسط الحسابي \bar{m} المحسوب من الصيغة (١) ، وتؤخذ العلامة الموجبة إذا كانت س تقل عن \bar{m} . هذا ويمكن الاستغناء عن هذا التصحيح وإهمال النصف إذا كانت العينة كبيرة .

وحين تكون كل من n_1 ، n_2 أكبر أو تساوى عشرة نكون أمام واحد من الحالات الثلاثة الآتية :

(١) إذا كان الفرض الصفري هو أن العينة عشوائية والفرض الآخر هو العكس فإننا نستخدم اختباراً ذا جانبيين ونرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ إذا وقعت القيمة المشاهدة للإحصاءة (٤) خارج المنطقة :

$$(٥) \quad (١,٩٦ < \text{ص} < -١,٩٦)$$

ونرفضه عند المستوى ٠,٠١ إذا وقعت خارج المنطقة :

$$(٦) \quad (٢,٥٨ < \text{ص} < -٢,٥٨)$$

وهذا بحسب ما جاء بالمثال (٤ - ٣) في الفصل الرابع . ويمكن أن نوجد المناطق المناظرة لأي مستوى دلالة آخر من جدول المساحات أسفل المنحني المعتدل المعياري .

(ب) أما إذا كان عدد التلاحقات صغيراً وأردنا اختبار الفرض عن وجود نمط يفسر قلة هذه التلاحقات فإن الاختبار في هذه الحالة يكون ذا جانب واحد هو الجانب الأيسر ونرفض الفرض الصفري عن عشوائية العينة لصالح هذا الفرض عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ إذا كانت القيمة المشاهدة للإحصاءة (٤) أقل من ١,٦٤ ونرفضه عند مستوى الدلالة ٠,٠١ إذا كانت تقل عن ٢,٣٣ . راجع المثال (٤ - ٣) .

(ج) كذلك إذا كان عدد التلاحقات كبيراً وأردنا اختبار الفرض عن وجود نمط دورى فإن الاختبار يكون أيضاً ذا جانب واحد هو الجانب الأيمن ونرفض الفرض الصفري عن عشوائية العينة لصالح هذا الفرض عند المستوى ٠,٠٥ (أو ٠,٠١) إذا كانت القيمة المشاهدة للإحصاءة (٤) تزيد عن ١,٦٤ (أو ٢,٣٣) .

مثال (١٤ - ١) :

أخذت عينة من ٣٠ شجرة ذُرءاء كانت قد زرعت من عدة سنوات على طريق زراعى فوجدت المتابعة الآتية ، حيث ص تعبر عن أن الشجرة مصابة بمرض معين ، ح تعبر عن أنها غير مصابة . اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠١ الفرض بوجود تجمعات أى أن الأشجار المصابة تتجمع معاً .

$$\begin{array}{cccccccccccc} \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} \\ \hline \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} & \text{ص} \\ \hline \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} & \text{ح} \end{array}$$

الحل :

لدينا $n = 7$ (عدد التلاحقات) ، $n = 20$ (عدد الأشجار السليمة) ،
 $n = 10$ (عدد الأشجار المصابة) .

نظراً لأن كلا من n ، n لا تقل عن عشرة ، يمكن اعتبار توزيع الإحصاءة (٤) معتدلاً معيارياً .

$$\text{من (١) : } \mu = 1 + \frac{10 \times 20 \times 2}{10 + 20} = 14,33$$

$$\text{من (٢) : } \sigma = \sqrt{\frac{(10 - 20 - 10 \times 20 \times 2) 10 \times 20 \times 2}{(1 - 10 + 20) \times 20}} = 2,38$$

$$\text{بالتعويض في (٤) : ص} = \frac{14,33 - (\frac{1}{2} + 7)}{2,38} = 2,87$$

الفرض الصفري : العينة عشوائية .

الفرض الآخر : يوجد تجمعات . (وإذن الاختبار ذو جانب واحد هو الجانب الأيسر)

بما أن $2,87 - > 2,33$ نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة ٠,٠١ : عن عشوائية العينة ويكون لدينا دليل قوى على أن الأشجار المصابة تقع في تجمعات غير عشوائية .

حالة البيانات الكمية .

لاختبار عشوائية العينة في حالة البيانات الكمية كأن يكون لدينا متابعة تعبر عن أوزان حيوان ينمو سجلت في فترات يومية أو أسبوعية ، نستخدم نفس الأسلوب السابق إلا أننا في هذه الحالة نقسم ما لدينا من قيم إلى صنفين بحسب وقوعها فوق الوسيط أو تحت الوسيط فنضع حرفاً ا مثلاً (أو علامة +) لكل قيمة تزيد عن الوسيط وحرفاً ب (أو العلامة -) لكل قيمة تقل عن الوسيط مع الاحتفاظ بترتيب هذه القيم . وإذا وجدت قيم تساوى الوسيط فإنها تهمل وكأنها لم تكن .

(نذكر أنه لإيجاد الوسيط لمجموعة من الأعداد نرتب هذه الأعداد تصاعدياً أو تنازلياً ثم نأخذ العدد الذى فى الوسط إذا كان عدد هذه الأعداد فردياً ، أو متوسط العددين الأوسطين إذا كان عدد الأعداد زوجياً) .

إن طريقة التلاحقات أعلى وأسفل الوسيط تفيد على وجه الخصوص فى حالتين رئيسيتين أولهما اختبار الاتجاهات وثانيهما اختبار الأنماط الدورية . فإذا بدأت متابعة التلاحقات بحروف أغلبها ا ثم بحروف أغلبها ب فإن هناك اتجاهاً إلى أسفل ، وإذا بدأت بحروف أغلبها ب ثم بحروف أغلبها ا فإن هناك ميلاً إلى أعلى . أما إذا كان الحرفان ا ، ب يتبادلان بشكل منتظم فإن هذا يشير إلى وجود نمط دورى .

مثال (١٤ - ٢) :

أخذ قطاع على أرض مملحة ، وعند نقط محددة منه قدرت نسب الغطاء النباتى لنوع من النبات بعرض ٥ سم من القطاع . سجلت ٤٠ من هذه النسب بالترتيب كما يلى :

٢٧	٢٦	٣٥	٣٠	١٨	٢١	٢٨	٣٣	٢٧	٢٧	٢٤
١٩	٢٤	٢٦	٢٨	٢٨	٣١	١٩	٢٣	٣٢	٢٩	٢٤
٢٤	١٣	٢٣	٢١	١٧	٢٨	٢٣	٢٢	٢٣	٢٢	١٤
				١٧	١٠	٢١	٢١	١٨	٢٠	٢٨

اختبر ما إذا كان هناك نمط تجمع للغطاء النباتى .

الحل :

$$\text{الوسيط فى هذه العينة} = \frac{1}{2}(23 + 24) = 23,5$$

(يلاحظ أن إيجاد الوسيط يستلزم أولاً ترتيب الأعداد المعطاة تصاعدياً أو

حالة العينات الصغيرة :

إذا كان أحد العددين n_1 ، n_2 أو كلاهما أصغر من ١٠ فلا يجوز التقريب بالتوزيع المعتدل المعيارى . وفي هذه الحالة نستخدم جداول خاصة كالجدول (١٣) بملحق هذا الكتاب الذى يعطى احتمال أن تقل عدد التلاحقات عن عدد معين s (على أساس صحة الفرض الصفرى عن عشوائية العينة) عند زوج مرتب من الأعداد (n_1, n_2) أى يعطى الاحتمال :

ل $(s \geq s_0)$ | ف صحيح عند (n_1, n_2) وحيث $n_1 > n_2$
وقد أعد هذا الجدول بحيث يكون الإحداثي الأول n_1 في الزوج المرتب (n_1, n_2) أصغر من الإحداثي الثاني n_2 ، أى أننا نرمز بالرمز n_1 لعدد مرات ظهور الحرف الذى يتكرر أقل سواء كان هذا الحرف هو a أو b . أما إذا كان $n_1 = n_2$ فلا يوجد أى شرط . ونرفض الفرض الصفرى عن عشوائية العينة عند المستوى α (٠,٥ مثلاً) إذا كان الاحتمال الناتج يقل عن α وإلا نقبل الفرض الصفرى .

مثال (١٤ - ٣) :

ضبطت آلة لكى تصب مقداراً معيناً من سائل ما في كل وعاء يمر تحتها . وجد أنه في ١٥ وعاء متتالياً كانت مقادير السائل باللترات كالتالى :

٣,٦	٣,٩	٤,١	٣,٦	٣,٨	٣,٧	٣,٤	٤,٠
٣,٨	٤,١	٣,٩	٤,٠	٣,٨	٤,٢	٤,١	

هل نستطيع القول بأن المقادير التى توزعها الآلة تتغير عشوائياً ؟

الحل :

$$\text{الوسيط} = ٣,٩$$

بوضع ١ بدلا من كل عدد يزيد عن ٣,٩ ، ب بدلا من كل عدد يقل عن ٣,٩ وإهمال العددين المساويين للعدد ٣,٩ نحصل على المتابعة الآتية :

$$ب \quad أ \quad ب \quad ب \quad ب \quad ب \quad أ \quad ب \quad أ \quad أ$$

لدينا $س = ٨$ (عدد التلاحقات) ، $ن_١ = ٦$ ، $ن_٢ = ٧$
مع ملاحظة أن $ن_١$ أصغر من $ن_٢$ وأن كلا منهما أصغر من ١٠
من الجدول (١٣) عند $(ن_١, ن_٢) = (٦, ٧)$ ، $س = ٨$ نجد أن :

$$ل(س \geq ٨ \mid ف \text{ صحيح}) = ٠,٧٣٣$$

وهذا الاحتمال يزيد عن ٠,٠٥ ، ولذلك نقبل الفرض الصفري أن حدود المتابعة تتغير عشوائياً .

(١٤ - ١ - ١) تطبيق آخر لاختبار التلاحقات :

يستخدم اختبار التلاحقات في الكشف عن دلالة تأثير معالجة ما على متغير ما كما يتبين من المثال الآتي .

مثال (١٤ - ٤) :

لمعرفة تأثير هورمون ما على أطوال براعم أحد النباتات أخذت عينة عشوائية من ٢٢ من هذا النبات وقسمت عشوائياً إلى قسمين بكل منهما ١١ نباتاً ووضعت النباتات تحت نفس الظروف فيما عدا أن نباتات أحد القسمين عولجت بالهورمون وتركت نباتات القسم الآخر دون معالجة (مجموعة مراقبة) . وبعد أسبوعين وجد أن أطوال البراعم بالمليمترات كالآتي :

المجموعة المعالجة : ٢٦ ٢٨ ٣٧ ٤١ ٥٧ ٥٨ ٦٧ ٧٨ ٨٠ ١٢١ ١٢٢

مجموعة المراقبة : ١٥ ٣٠ ٣٠ ٦٥ ٩١ ١٠٣ ١٣٢ ١٣٥ ١٣٧ ١٤١ ١٩٨

ابحث ما إذا كان الهورمون يعيق نمو براعم هذا النبات .

الحل :

نضم جميع القيم المشاهدة في المجموعتين في متابعة واحدة ونكتب عناصر هذه المتابعة بعد ترتيبها ترتيبا تصاعديا ثم نضع الحرف أ تحت كل عنصر من عناصر المجموعة المعالجة والحرف ب تحت كل عنصر من عناصر مجموعة المراقبة كما يلي :

٧٨ ٦٧ ٦٥ ٥٨ ٥٧ ٤١ ٣٧ ٣٠ ٣٠ ٢٨ ٢٦ ١٥
ب أ أ ب ب أ أ أ أ ب أ أ

١٩٨١٤١١٣٧١٣٥١٣٢١٢٢١٢١١٠٣ ٩١ ٨٠
أ ب ب أ أ ب ب ب ب ب ب

الفرض الصفري : المعالجة ليس لها تأثير في نمو البراعم . أى أن البيانات مأخوذة من مجتمع واحد وبالتالي تتابع الرموز أ ، ب عشوائيا .

الفرض الآخر : المعالجة تعيق نمو البراعم ، وإذن الاختبار ذو جانب واحد .

إذا كان الفرض الصفري صحيحا فإن جميع المتتابعات من الرمزين أ ، ب التي يمكن أن تسفر عنها التجربة تكون متساوية الاحتمال ويتوزع هذان الرمزان عشوائيا . أما إذا كانت المجموعتان هما عينتان من مجتمعين مختلفين نتيجة لتأثير المعالجة بالهورمون فإن عناصر كل من المجموعتين تميل إلى التجمع معا ويكون عدد التلاحقات قليلا . وعلى ذلك يمكن استخدام اختبار التلاحقات بالأسلوب السابق بيانه في الأمثلة الثلاثة السابقة .

عدد التلاحقات س = ٩ ، ن_١ = ١١ ، ن_٢ = ١١

من (١) :
$$١٢ = ١ + \frac{١١ \times ١١ \times ٢}{٢٢}$$

(٣) اختبار عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ، ما إذا كانت قيم العينة الآتية مرتبة ترتيباً عشوائياً :

٥٧	٣٣	٦٣	٨٤	١٦	٥٥	١٢	١٦	٣	٩٧
٣١	١٦	٩٩	٥٦	٧٠	٣٧	٥٢	٢٣	٢٦	١٨

SIGN TEST

(١٤ - ٢) اختبار الإشارة :

حين نستخدم اختبارات لاختبار فرض عن الوسط الحسابي لمجتمع (البند ٦ - ٦ - ١) وعند اختبار فرض تساوى متوسطى مجتمعين (البند ٦ - ٦ - ٣) نشترط أن تكون المجتمعات معتدلة . أما إذا كان هذا الشرط غير متحقق ولا يمكن الدفاع عنه فلا مفر من اللجوء إلى الاختبارات غير البارامترية . ولعل أسهل وأسرع اختبار لذلك هو الاختبار المعروف باختبار الإشارة ، وهو يبنى على توزيع ذى الحدين .

(١٤ - ٢ - ١) اختبار فرض عن متوسط مجتمع :

نفرض أننا حصلنا على عينة عشوائية من مجتمع متصل ونريد أن نختبر ما إذا كان لهذا المجتمع وسط حسابي معين $\mu = a$. يبدأ اختبار الإشارة بوضع الإشارة + بدلا من كل قيمة في العينة تزيد عن a ووضع الإشارة - بدلا من كل قيمة تقل عن a وإهمال القيم التي تساوى a . إذا كان الفرض الصفري $\mu = a$ صحيحاً وكان المجتمع متماثلاً نتوقع أن يكون عدد الإشارات الموجبة مساوياً على وجه التقريب لعدد الإشارات السالبة . أما إذا بدا أن أحدهما أكبر مما ينبغي فإننا نرفض ذلك الفرض الصفري .

ليكن n_+ ، n_- رمزين لعددي الإشارات الموجبة والسالبة على الترتيب . إذا كان الفرض صحيحاً فإن احتمال أن تزيد أى قيمة مشاهدة عن العدد a يساوى

احتمال أن تقل عن ١ وعلى ذلك فإن كلا الاحتمالين يساوى ١/٢ ولذلك فإن اختبار الإشارة يعرف متغيراً عشوائياً \bar{u} يعبر عن عدد الإشارات الموجبة (أو السالبة) في n من العناصر. وإذا كانت القياسات مستقلة يكون لهذا المتغير توزيع ذى الحدين دليلاً n ، $1/2$ حيث n هو حجم العينة بعد استبعاد القيم التي أهملت. ولوضع قاعدة روتينية لهذا الاختبار نرمز إلى قيم هذا المتغير بالرمز \bar{u} حيث \bar{u} أصغر العددين $n/2$ ، $n - \bar{u}$ أى أن :

$$\bar{u} = \text{أصغر } (n/2, n - \bar{u})$$

ثم نحسب احتمال أن يأخذ المتغير \bar{u} قيمة تساوى أو تقل عن القيمة المشاهدة \bar{u} أى نحسب الاحتمال :

$$(7) \quad L(\bar{u} \geq \bar{u})$$

على أساس صحة الفرض الصفري أن $\bar{u} = n/2$ (وبالتالى $\mu = 1/2$). وإذا كانت α هي مستوى الدلالة الذى اخترناه فإننا نرفض الفرض الصفري عند هذا المستوى في حالة الاختبار ذى الجانب الواحد إذا كان :

$$(8) \quad L(\bar{u} \geq \bar{u}) > \alpha$$

ونقبله إذا زاد هذا الاحتمال عن α أو كان مساوياً لها. وفي حالة الاختبار ذى الجانبين نرفض الفرض الصفري إذا كان :

$$(9) \quad 2L(\bar{u} \geq \bar{u}) > \alpha$$

وحين يكون حجم العينة صغيراً ($n \geq 10$) نوجد الاحتمال (٧) مباشرة من أحد جداول احتمالات توزيع ذى الحدين كالجداول (٣) بملحق هذا الكتاب، أما إذا كانت n أكبر من ١٥ ولا يتسع لها هذا الجدول فإننا نستخدم تقريب التوزيع المعتدل لتوزيع ذى الحدين الذى مررنا بالبند (٤ - ٦) إذا توفرت شروطه، ونستخدم نفس مناطق الرفض كما في البند (١٤ - ١) الأخير.

مثال (١٤ - ٥) :

الأعداد الآتية هي ١٥ قياساً لمعدلات الأوكسين في نوع من الجاسولين :

٩٢,٧ ٩٤,٨ ٩٦,٩ ٩٩,٨ ٩٦,٣ ٩٥,٥ ٩٦,٨ ٩٤,٧ ٩٧
٩٤,٤ ٩٨,٠ ٩٧,٧ ٩٧,١ ٩٥,٦ ٨٦,٦

اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠١ الفرض الصفري أن متوسط معدل الأوكسين هو $\mu = ٩٨$ ضد الفرض الآخر أن $\mu > ٩٨$.

الحل :

باستخدام قاعدة الإشارات سابقة الذكر نحصل على الإشارات الآتية وعددها ١٤ إشارة بعد إهمال العدد الذى يساوى ٩٨ .

-----+-----+-----

إذن $٢ = +$ ، $١٢ = -$ إشارة ١٤ إشارة .
نأخذ س. $٢ =$ (أصغر العددين ٢ ، ١٢) .

نختبر الفرض أن توزيع عدد الإشارات الموجبة هو توزيع ذى الحدين دليلاً
١٤ ، ٠,٥ . إذا كان هذا الفرض صحيحاً نجد من الجدول (٣) عند $n = ١٤$ ،
 $ح = \frac{1}{٢}$ أن :

$$ل (س \geq ٢) = ٠,٠٠١ + ٠,٠٠٦ = ٠,٠٠٧$$

وهذا الاحتمال أصغر من مستوى الدلالة ٠,٠١ ولهذا نرفض الصفري ونستنتج أن
متوسط معدل الأوكسين يقل عن ٩٨ .

ملاحظة (١) :

استخدام تقريب التوزيع المعتدل :

في هذا المثال نظراً لأن $n = 14$ و $n - 1 = 13$ و $\frac{1}{4} \times 14 = 3.5$ وهذا العدد أكبر من خمسة ، وحسب الإحصاءة (٦) بالبند (٤ - ٦). يمكن تقريب توزيع ذى الحدين الذى لدينا بالتوزيع المعتدل عن طريق الإحصاءة :

$$\frac{\mu - (\frac{1}{4} \pm \frac{1}{2})}{\sigma} = z$$

حيث $\mu = n = 14$

$$\sigma = \sqrt{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4}} = \sqrt{14 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4}} = 1.871$$

وعلى أساس صحة الفرض نجد أن :

$$z = \frac{14 - (\frac{1}{4} + \frac{1}{2})}{1.871} = 7.406$$

وهذا العدد يقل عن -2.33 وإذن نرفض الفرض الصفري عند المستوى 0.01 .

ملاحظة (٢) :

الواقع أن الذى يختبره اختبار الإشارة هو الوسيط. ولكن نظراً لأننا افترضنا أن المجتمع متماثل فإن الوسيط يكون هو نفسه الوسط الحسابى ، أما إذا لم يكن المجتمع متماثلاً فإن اختبار الإشارة يكون اختصاراً عن الوسيط وليس عن الوسط الحسابى .

(١٤ - ٢ - ٢) مقارنة متوسطى مجتمعين غير معتدلين :

نفرض أن لدينا مجموعة من أزواج المشاهدات (x_i, y_i) من مجتمعين

متصلين غير معتدلين ونريد اختبار ما إذا كان هذين المجتمعين وسطان حسابيان متساويان $\mu_1 = \mu_2$. بنفس أسلوب البند السابق ، يبدأ اختبار الإشارة بوضع الإشارة + أو الإشارة - لكل فرق $F_i = S_i - C_i$ بحسب كون هذا الفرق موجباً أو سالباً ، وإهمال الحالات التي ينعدم فيها هذا الفرق .

إذا كان الفرض الصفري $\mu_1 = \mu_2$ صحيحاً وكان كل من المجتمعين متماثلاً ينبغي أن يكون مجموع الإشارات الموجبة في العينة مساوياً بالتقريب لمجموع الإشارات السالبة ويكون احتمال أن يكون الفرق F موجباً يساوى احتمال أن يكون هذا الفرق سالباً ويكون كلا الاحتمالين مساوياً للعدد $\frac{1}{2}$ = ولذلك فإن الاختبار يعرف متغيراً عشوائياً له توزيع ذى الحدين دليله $H = \sum_{i=1}^n I_i$ بشرط صحة الفرض الصفري . ويسير الاختبار بنفس الأسلوب المذكور في البند السابق .

مثال (١٤ - ٦) :

في دراسة لمعرفة تأثير نظام جديد في المرور جمعت البيانات الآتية عن عدد الحوادث التي وقعت في ١٢ تقاطعاً من التقاطعات الخطرة (على فرض أنها عينة عشوائية) خلال ٣ شهور قبل النظام الجديد و ٣ شهور بعده :

قبل النظام الجديد : ٣ ٥ ٢ ٣ ٣ ٣ ٠ ٤ ١ ٥ ٤ ١
بعد النظام الجديد : ١ ٢ ٠ ٢ ٢ ١ ٢ ٣ ٣ ٣ ٢ ٠

ابحث عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ما إذا كان النظام الجديد له أثر في تقليل الحوادث عند تلك التقاطعات .

الحل :

باستخدام قاعدة الإشارات للفروق نحصل على الإشارات الآتية وعددها ١٢

+ + + - + - + + + + + +

$V = 10$ ، $U = 2$ من ١٢ إشارة

الفرض الصفري ف. : $\mu_1 = \mu_2$ متوسط عدد الحوادث واحد في الحالتين

ف. : $\mu_1 < \mu_2$

نأخذ س. = ٢ (أصغر العددين ١٠ ، ٢)

نختبر الفرض أن توزيع عدد الإشارات السالبة هو توزيع ذى الحدين دليلاً
١٢ ، ١. إذا كان هذا الفرض صحيحاً نجد من الجدول (٢) عند $h = ١٢$ ،
ح = ١. أن :

$$ل (س \geq ٢) = ٠,٠٠٣ + ٠,٠١٦ = ٠,٠١٩$$

وهذا الاحتمال أقل من ٠,٠٥ وإذن نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة
٠,٠٥ لصالح الفرض الآخر ونحكم بأن النظام الجديد قد أثر في تقليل عدد
الحوادث عند التقاطعات الخطرة .

تمارين (١٤ - ٢)

(١) في إحدى التجارب العملية نتجت ١٨ قيمة لمعامل الاحتكاك بين الجلد
وأحد المعادن وكانت هذه القيم كالآتي :

٠,٥٩ ٠,٤٨ ٠,٥٣ ٠,٥٧ ٠,٥٥ ٠,٦١ ٠,٥٦ ٠,٦٠ ٠,٥٥
٠,٥٨ ٠,٥٢ ٠,٥٥ ٠,٥٦ ٠,٥١ ٠,٥٧ ٠,٥٦ ٠,٥٩ ٠,٥٨

استخدام اختبار الإشارة عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ لاختبار الفرض الصفري أن
متوسط معامل الاحتكاك $\mu = ٠,٥٥$ ضد الفرض الآخر أن $\mu \neq ٠,٥٥$.

(٢) الآتي هي أعداد الحفريات التي وجدها اثنان من علماء الآثار في بقايا
مساكن أثرية على سفح جبل في ٣٠ يوماً :

العالم الأول : ١ ٠ ٢ ٣ ١ ٠ ٢ ٢ ٣ ٠ ١ ١ ٤ ١ ٢
العالم الثاني : ٠ ١ ٠ ٢ ٠ ١ ١ ٢ ١ ٠ ١ ٢ ١ ١ ١

العالم الأول : ١ ٣ ٥ ٢ ١ ٣ ٢ ٤ ١ ٣ ٢ ٠ ٢ ٤ ٢
العالم الثاني : ٠ ٢ ٢ ٠ ٢ ٣ ٠ ٢ ٠ ١ ٠ ١ ٠ ١ ٠

استخدم اختبار الإشارة عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ، لاختبار الفرض الصفري
أن العالمين على نفس الكفاءة في العثور على الحفريات ضد الفرض الآخر أن العالم
الأول أفضل .

(٣) أعطى كل من ١٠ مرضي نوعان من المهدئات أ ، ب والجدول الآتي
يعرض الزيادة في مدة النوم بالساعات . هل الفرق بين نوعي المهدئات ذو دلالة ؟

أ : ١,٩ ٠,٨ ١,١ ٠,١ - ٠,١ ٤,٤ ٥,٥ ١,٦ ٤,٦ ٣,٤
ب : ٠,٧ - ١,٦ - ٠,٢ - ١,٢ - ٠,١ - ٣,٤ ٣,٧ ٠,٨ ٠,٠ ٢,٠

(١٤ - ٣) اختبار ويلكوكسن للمقارنات الزوجية :

WILCOXON TEST FOR PAIRED COMPARISONS

إن اختبار الإشارة الذي ورد بالبند (١٤ - ٢ - ٢) يحدد أياً من المجتمعين
المأخوذة منهما العينات هو الأكبر في المتوسط ولكنه لا يحدد مقدار الفرق بينهما .
والاختبار الذي يحدد كلا الاتجاه والمقدار هو ذلك المعروف باختبار ويلكوكسن
للمقارنات الزوجية ، وهو فضلاً عن هذا أكثر حساسية من اختبار الإشارة في
الكشف عن وجود فرق بين متوسطي مجتمعين توزيعهما مجهولان . وتوضح أهمية
هذا الاختبار في الحالات التي لا تنطبق فيها شروط الاختبار المقدم في البند
(٨ - ٧) .

نفرض أننا حصلنا على n من أزواج القيم (x_i, y_i) ، وليكن $F_i = x_i - y_i$.
هي الفروق بين هذه الأزواج . لاختبار الفرض الصفري $\mu_x = \mu_y$ عن
تساوي متوسطي المجتمعين يبدأ اختبار ويلكوكسن بإهمال الفروق المساوية للصفر

ثم ترتيب الفروق الباقية بصرف النظر عن إشاراتها أى بحسب القيم المطلقة لهذه الفروق ، فتعطى الرتبة ١ لأصغر فرق في القيمة المطلقة وتعطى الرتبة ٢ للفرق التالى في الصغر وهكذا . وحين تتساوى القيم المطلقة لاثنتين أو أكثر من هذه الفروق يعطى لكل منهما متوسط الرتب التي كانت ستعطى لو كانت هذه الفروق متميزة .

إذا كان الفرض الصفري $\mu_0 = \mu_1$ صحيحا نتوقع أن يكون مجموع الرتب المناظرة للفروق الموجبة في العينة مساويا بالتقريب لمجموع الرتب المناظرة للفروق السالبة . لنرمز إلى هذين المجموعين بالرمزين T_+ ، T_- على الترتيب ، وليكن $S = \text{أصغر} (T_+ , T_-)$

نظراً لأن S تتغير من عينة إلى أخرى فإننا ننظر إليها على أنها قيمة مشاهدة من متغير عشوائي S . إن هذا المتغير له توزيع معروف متوسطه وتباينه كالآتي :

$$\mu_S = \frac{n(n+1)}{4} \quad (١٠)$$

$$\sigma^2_S = \frac{n(n+1)(n+2)}{24} \quad (١١)$$

وعلى ذلك تبني قاعدة الاختبار على إيجاد احتمال الحصول بالصدفة وحدها على قيمة تساوى أو تقل عن قيمة S المشاهدة أى على إيجاد الاحتمال $L(S \geq S_0)$. ونظراً لصعوبة إيجاد هذا الاحتمال فقد أعدت جداول لإعطاء القيم الحرجة لتوزيع المتغير S ومنها الجدول (١٤) بملحق هذا الكتاب وهو يعطى القيمة الحرجة عند $\alpha = 0.05$ ، 0.01 ، 0.001 عند كل من مستويات الدلالة 0.05 ، 0.01 ، 0.001 للاختبارات ذات الجانب الواحد وعند كل من مستويات الدلالة 0.05 ، 0.01 ، 0.001 للاختبارات ذات الجانبين ، وأى قيمة مشاهدة S تقل عن القيمة المذكورة في الجدول تكون ذات دلالة عند المستوى المذكور وتدعو إلى رفض الفرض الصفري وذلك لأن هذا الجدول يعطى قيم S حيث الاحتمال $L(S \geq S_0)$ يكون أصغر من مستوى الدلالة المذكور .

وفي الحالة التي تزيد فيها n عن ٣٠ ولا يتسع لها الجدول (١٤) نستخدم الإحصاءة .

$$(12) \quad \frac{\bar{m} - \frac{n}{2} (1 + n)}{\sqrt{\frac{n}{24} (1 + n) (2 + n)}} = \bar{m}$$

التي يقترب توزيعها من التوزيع المعتدل المعياري .

مثال (١٤ - ٧) :

الأعداد المدونة بالعمودين الثاني والثالث من الجدول الآتي هي متوسطات أعداد المواليد في المرة الواحدة لسلالتين من فيران التجارب كانتا محفوظتين في مستعمرات كبيرة في الولايات المتحدة ، وذلك في الأعوام التسعة من ١٩١٦ إلى ١٩٢٤ :

| السنة | السلالة (أ) | السلالة (ب) | ف | الرتب (مع إهمال الإشارة) |
|-------|-------------|-------------|--------|--------------------------|
| ١٩١٦ | ٢,٦٨ | ٢,٣٦ | + ٠,٣٢ | ٩ |
| ١٩١٧ | ٢,٦٠ | ٢,٤١ | + ٠,١٩ | ٨ |
| ١٩١٨ | ٢,٤٣ | ٢,٣٩ | + ٠,٠٤ | ٢ |
| ١٩١٩ | ٢,٩٠ | ٢,٨٥ | + ٠,٠٥ | ٣ |
| ١٩٢٠ | ٢,٩٤ | ٢,٨٢ | + ٠,١٢ | ٧ |
| ١٩٢١ | ٢,٧٠ | ٢,٧٣ | - ٠,٠٣ | ١ |
| ١٩٢٢ | ٢,٦٨ | ٢,٥٨ | + ٠,١٠ | ٦ |
| ١٩٢٣ | ٢,٩٨ | ٢,٨٩ | + ٠,٠٩ | ٥ |
| ١٩٢٤ | ٢,٨٥ | ٢,٧٨ | + ٠,٠٧ | ٤ |

اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ما إذا كان متوسط الخلفة للسلالة أ يزيد عنه في السلالة ب .

الحل :

نحسب الفروق فرد بين كل زوج من المشاهدات (السلالة ١ - السلالة ب) مع الاحتفاظ بالإشارة الموجبة أو السالبة كما هو مبين بالعمود الرابع . نرتب الفروق من الأصغر إلى الأكبر بصرف النظر عن الإشارة كما هو مبين بالعمود الأخير .

لدينا $n = 9$ (عدد أزواج القيم في العينة)

$\sum^+ = 44$ (مجموع الرتب المناظرة للفروق الموجبة)

$\sum^- = 1$ (مجموع الرتب المناظرة للفروق السالبة)

نأخذ $s = 1$ (أصغر العددين ٤٤ ، ١)

من الجدول (١٤) وعند $n = 9$ ، $\alpha = 0.01$ نجد القيمة الحرجة ٣ وأى قيمة s تساوى أو تقل عن هذه القيمة تكون ذات دلالة عند المستوى ٠,٠١ . وبما أن $s = 1 \geq 3$ فإنها تكون ذات دلالة وتدعو إلى رفض الفرض الصفري ونستنتج أن متوسط الخلفة في السلالة (أ) أكبر منه في السلالة (ب) .

ملاحظة (١) :

في هذا المثال يحق لنا اعتبار أننا بصدد مقارنات تزاوجية وذلك بملاحظة توازى التغيرات في السلالتين معاً خلال السنوات التسع . ففي السنتين ١٩١٧ ، ١٩١٨ وهما سنتا حرب في الولايات المتحدة وفي العالم كله ، أدى النقص في الرعاية وفي الغذاء إلى قلة عدد الذرية في السلالتين ثم تحسن هذا العدد بمجرد تحسن الظروف . كذلك نلاحظ أنه في العام ١٩٢٢ كان هناك هبوط في الذرية في كلا السلالتين ، مما يشير إلى أن التغيرات ترجع إلى أسباب بيئية . ولهذا يكون من المناسب تناول هذه البيانات على أنها مقارنات تزاوجية العامل الثابت فيها هو عامل السلالة أما السنوات فهي عامل التكرارات .

ملاحظة (٢) :

يمكن استخدام اختبار ويلكوكسن للمقارنات التزاوجية لاختبار الفرض

الصفري أن الفرق بين متوسطي مجتمعين يأخذ قيمة معينة ، مثلاً $\mu_1 - \mu_2 = 1$.
ولا يختلف الإجراء المطلوب عن الإجراء السابق إلا في أننا نطرح العدد ١ من كل فرق
ف قبل إعطاء الرتب كما في المثال الآتي .

مثال (١٤ - ٨) :

كان هناك ادعاء بأنه إذا أعطى طالب في المستوى الرابع عينات من امتحانات
سابقة فإن درجاته عند التخرج تزيد بمقدار ٥٠ نقطة . اختير ٢٠ طالباً عشوائياً
في هذا المستوى وقسموا إلى ١٠ أزواج بحيث كان الطالبان في كل زوج متساويين
تقريباً في معدهما التراكمي عن السنوات الثلاثة السابقة ، وأعطيت عينات من
امتحانات سابقة لواحد فقط من كل زوج (اختير بطريقة عشوائية) قبل الامتحان
بأسبوع وسجلت درجات الامتحان النهائي في العمودين الثاني والثالث من الجدول
الآتي . اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ الفرض الصفري أن $\mu_1 - \mu_2 = ٥٠$
ضد الفرض الآخر أن $\mu_1 - \mu_2 > ٥٠$

| الزوج | بامتحانات
سابقة | بغير امتحانات
سابقة | ف | ف - ٥٠ | الرتب
(مع إهمال الإشارة) |
|-------|--------------------|------------------------|-----|--------|-------------------------------|
| ١ | ٥٣١ | ٥٠٩ | ٢٢ | ٢٨- | ٥ |
| ٢ | ٦٢١ | ٥٤٠ | ٨١ | ٣١ | ٦ |
| ٣ | ٦٣٣ | ٦٨٨ | ٢٥- | ٧٥- | ٩ |
| ٤ | ٥٧٩ | ٥٠٢ | ٧٧ | ٢٧ | ٣,٥ |
| ٥ | ٤٥١ | ٤٢٤ | ٢٧ | ٢٣- | ٢ |
| ٦ | ٦٦٠ | ٦٨٣ | ٢٣- | ٧٣- | ٨ |
| ٧ | ٥٩١ | ٥٦٨ | ٢٣ | ٢٧- | ٣,٥ |
| ٨ | ٧١٩ | ٧٤٨ | ٢٩- | ٧٩- | ١٠ |
| ٩ | ٥٤٣ | ٥٣٠ | ١٣ | ٣٧- | ٧ |
| ١٠ | ٥٧٥ | ٥٢٤ | ٥١ | ١ | ١ |

لدينا $n = 10$ (حجم العينة) .

$$s^2 = 1 + 3,5 + 6 = 10,5$$

$$s^2 = 5 + 9 + 2 + 8 + 3,5 + 10 + 7 = 44,5$$

نأخذ $s = 10,5$ (أصغر العددين $10,5$ ، $44,5$)

من الجدول (١٤) وعند $n = 10$ ، $\alpha = 0,05$ نجد القيمة الحرجة ١١ .

بما أن $s = 10,5 \geq 11$ نرفض الفرض الصفري ونستنتج أنه (في المتوسط) إعطاء الامتحانات السابقة لا يجعل درجة التخرج تزيد بمقدار يصل إلى ٥٠ نقطة .

تمارين (١٤ - ٣)

(١) بالجدول الآتي الأوزان بالكيلو جرامات لخمسة أشخاص قبل أن يمتنعوا عن التدخين وبعد ٥ أسابيع من امتناعهم عنه :

| (٥) | (٤) | (٣) | (٢) | (١) | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ٥٤ | ٥٢ | ٦٩ | ٨٠ | ٦٦ | قبل |
| ٥٩ | ٥٦ | ٦٨ | ٨٢ | ٧١ | بعد |

استخدم اختبار ويلكوكسن للمقارنات الزوجية عند مستوى الدلالة ٠,٥ ،
لاختبار أن الامتناع عن التدخين ليس له تأثير في زيادة الوزن ضد الفرض الآخر
أنه يزيد الوزن .

TEST FOR TREND (١٤ - ٤) اختبار الاتجاه :

ليكن y متغيراً عشوائياً ، x متغيراً رياضياً (كما في الفصل التاسع عن الانحدار الخطي البسيط) . كثيراً ما نساءل : إذا ازدادت قيم y فهل تزداد معها قيم x (اتجاه موجب) أم تنقص قيم x (اتجاه سالب) ؟ أى أننا نريد اختبار الفرض الصفري أنه لا يوجد اتجاه ، ضد الفرض الآخر . بوجود اتجاه موجب أو سالب أو بوجود اتجاه بصفة عامة .

إذا توفرت الافتراضات المذكورة في الفصل التاسع (خطية العلاقة بين s ، s واعتدالية توزيع المتغير العشوائي s) فإننا نتبع الأسلوب المبين بذلك الفصل ، أما إذا لم تكن متوفرة فيمكننا أن نستخدم اختباراً بسيطاً يعرف باختبار الاتجاه .

وعلى فرض أن لدينا n من أزواج القيم (s ، s) ناتجة من عينة عشوائية فإن هذا الاختبار يبدأ بترتيب قيم s ترتيباً تصاعدياً ثم ملاحظة قيم s المناظرة . في حالة وجود اتجاه موجب ينبغي أن تزداد قيم s مع ازدياد s . أما إذا لم يوجد اتجاه فإن قيم s تسلك سلوكاً عشوائياً دون أى رتابة أى دون أن يكون هناك نسق معين . والمؤشر لذلك هو عدد الاستبدالات $transpositions$ في المتغير s أى عدد المرات التي لا تكون فيها قيم s في مكانها الطبيعي من التزايد أى حين تسبق بعض هذه القيم قيمة أصغر منها . ولذلك فإن الاختبار يعرف بمتغيراً عشوائياً s يعبر عن عدد الاستبدالات ثم يحسب الاحتمال :

ل ($s \geq s$) (١٣)

على أساس صحة الفرض الصفري بعدم وجود اتجاه وحيث s هي عدد الاستبدالات المشاهدة في العينة . فإذا كان هذا الاحتمال أقل من مستوى الدلالة الذي نختاره فإننا نرفض الفرض الصفري عند هذا المستوى لصالح الفرض الآخر . وقد أعدت جداول للاحتتمالات المتجمعة المبينة بالصيغة (١٣) ومنها الجدول (١٥) بملحق هذا الكتاب الذي يعطى هذه الاحتمالات لقيم $n = 3, 4, \dots, 20$ بالنسبة للمتغيرات المتصلة .

مثال (١٤ - ٩) :

في بحث لمعرفة تأثير تعرض بذور الشعير لنوع من الأشعة على المحصول الناتج وجدت البيانات الآتية مع ملاحظة أن s وضعت مرتبة ترتيباً تصاعدياً وأن s مقاسة بالجرامات في الجوال .

مقدار الأشعة (س): ٠ ٢ أ ٤ ٤٠ أ ٤٠٠
مقدار المحصول (ص): ٢٩,٢ ٣٠,٢ ٢٨,٢ ٢٩,٧ ٣٠,٤

اختبر عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ما إذا كان مقدار المحصول يزداد بازدياد مقدار الأشعة .

الحل :

الفرض الصفري ف : تعريض البذور للأشعة لا يؤثر في المحصول .

الفرض الآخر ف_١ : يوجد اتجاه موجب (ص تزداد بازدياد س) .

نحسب عدد الاستبدالات كالآتي :

العدد ٢٩,٢ يسبق العدد ٢٨,٢ (استبدال واحد) .

العدد ٣٠,٢ يسبق العددين ٢٨,٢ ، ٢٩,٧ (استبدالين اثنين) .

إذن عدد الاستبدالات س = ٣ في ه = ٥ من القيم الصادية .

من الجدول (١٥) عند ه = ٥ ، س = ٣ وعلى أساس صحة الفرض الصفري

نجد أن : ل (س ≥ ٣) = ٠,٢٤٢

وهذا الاحتمال أكبر من مستوى الدلالة ٠,٠٥ وعلى ذلك لا نستطيع رفض الفرض

الصفري ونستنتج أنه في حدود هذه التجربة ليس للأشعة تأثير جوهري على

محصول الشعير .

ملاحظة :

إذا اشتملت العينة على ٢ من القيم المتساوية للمتغير ص نحسب عدد الاستبدالات

كما سبق ثم نضيف إليه العدد $\frac{1}{2}(2-1)$ وهو متوسط الاستبدالات في حالة

تبادل ٢ من الأشياء . فمثلا إذا وجدت قيمتان متساويتان أى ٢ = ٢ نضيف

العدد $\frac{1}{2} \times 2 \times 1 = 1$ وإذا كانت ٢ = ٣ نضيف العدد $\frac{1}{2} \times 3 \times 2 = 3$

لكل ثلاثة قيم متساوية وهكذا .

تقارين (١٤ - ٤)

استخدم اختبار الاتجاه لكل من العينات الآتية :

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| (١) | س : | ١٥ | ٢٠ | ٣٠ | ٤٠ | ٥٠ | ٦٠ | ٧٠ |
| ص : | ٦,٥ | ٥,٦ | ٥,٤ | ٦,٠ | ٤,٦ | ١,٤ | ٠,١ | |

حيث ص هي محتوى الأكسجين (ملليجرام / لتر) في أحد البحيرات عند العمق س بالأمتار .

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| (٢) | س : | ١٠ | ١٥ | ٣٠ | ٤٠ | ٥٠ | ٥٥ | ٨٠ | ١٠٠ |
| ص : | ٥٠ | ٤٦ | ٤٣ | ٤٣ | ٣٦ | ٣٩ | ٣٧ | ٣٣ | |

حيث س هي محتوى الدسلفيد في ميثيل الصوف ،
ص نسبة تركيز محتوى الماء .

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| (٣) | س : | ١٢١ | ١٢٠ | ٩٥ | ١٢٣ | ١٤٠ | ١١٢ | ٩٢ | ١٠٠ | ١٠٢ | ٩١ |
| ص : | ٥٢١ | ٤٦٥ | ٣٥٢ | ٤٥٥ | ٤٩٠ | ٣٨٨ | ٣٠١ | ٣٩٥ | ٣٧٥ | ٤١٨ | |

حيث س تعبر عن ضغط الدم بوحدات معينة ، ص وزن القلب بالجرامات لعينة من ١٠ مرضي ذكور ماتوا بأحد أمراض المخ .

(١٤ - ٥) اختبار كروسكال - واليس KRUSKAL-WALLIS TEST

يستخدم هذا الاختبار كبديل لطريقة تحليل التباين للتجارب ذوات العامل الواحد حين لا تتوفر شروطها .

وتتلخص المشكلة التي نتناولها هنا فيما يلي :

« لدينا k من العينات العشوائية أحجامها n_1, n_2, \dots, n_k مأخوذة

من k من المجتمعات ، ونرغب في اختبار الفرض الصفري ف أن لهذه المجتمعات متوسطات متساوية . إذا كان هذا الفرض صحيحا يمكن النظر إلى هذه العينات على أنها عينة عشوائية واحدة حجمها n (هو مجموع أحجام العينات) مأخوذة من مجتمع مشترك . نرتب قيم هذه العينة من الأصغر إلى الأكبر - من ١ إلى n - ونستعيز عن كل قيمة مشاهدة بالترتيب المناظر لها . نجمع تراتيب وحدات كل عينة على حدة ، ولتكن T_1, T_2, \dots, T_k هي مجاميع هذه التراتيب . إذا كان الفرض الصفري ف صحيحا فإن هذه المجاميع تكون ذات قيم متقاربة ، أما إذا لم يكن ف صحيحا فإن التراتيب الكبرى تميل إلى أن تقع في العينات المأخوذة من المجتمعات التي لها أكبر المتوسطات . وعلى هذا نكون في حاجة إلى إحصاءة اختبار تكشف عن وجود أو عدم وجود واحد أو أكثر من المجاميع الترتيبية T_i تكون كبيرة بدرجة لا تتوقع حدوثها عن طريق الصدفة .

وقد وجد أن أحد الإحصاءات التي تصلح لذلك هي تلك التي قدمها كروسكال وواليس وهي تأخذ الصيغة الآتية :

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{3}{n(n+1)} \quad (14)$$

حيث n مجموع أحجام العينات ، T_i مجموع تراتيب وحدات العينة i ، $n_i = 1, 2, \dots, k$. ولهذه الإحصاءة توزيع قريب من توزيع χ^2 بدرجات حرية $k - 1$ وبالتالي يمكن استخدام جدول χ^2 لاختبار الفرض الصفري عن تساوي متوسطات المجتمعات ، فرفض ف . إذا كانت القيمة المشاهدة للإحصاءة (١٤) أكبر من القيمة الحرجة في توزيع χ^2 عند مستوى الدلالة الذي نختاره .

مثال (١٤ - ١٠) :

أراد أحد رجال التربية الرياضية اختبار أفضلية ثلاثة طرق جديدة في تعليم لعبة كرة السلة فأخذ عينة عشوائية من عشرين من المبتدئين في هذه اللعبة وقسمها عشوائيا إلى أربع مجموعات بكل منها خمسة لاعبين . دربت إحدى المجموعات بالطريقة المعتادة بينما دربت كل من المجموعات الثلاث الأخرى بإحدى الطرق الجديدة . وبعد فترة التدريب قيست مهارات اللاعبين وسجلت درجاتهم في الجدول الآتي الذي سجلت فيه أيضا الترتيب المناظرة للدرجات (وهي تلك الموضوعية بين الأقواس) . المطلوب اختبار ما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة بين مهارات اللاعبين الناتجة عن الطرق الأربع .

| الطرق الجديدة للتدريب | | الطريقة المعتادة |
|-----------------------|-----------|------------------|
| أ | ب | ح |
| ٦٣,٠ (٨) | ٨٥,٠ (١٨) | ٩٠,٢ (٢٠) |
| ٤٧,٠ (٢) | ٨٠,١ (١٦) | ٧٠,٧ (١١) |
| ٥١,٠ (٤) | ٧٩,٠ (١٥) | ٨٦,٠ (١٩) |
| ٧٤,٠ (١٣) | ٦٧,٠ (١٠) | ٦٢,٣ (٧) |
| ٦٠,٠ (٦) | ٨٢,٣ (١٧) | ٧٢,٣ (١٢) |
| ت.م : (٣٣) | (٧٦) | (٦٩) |
| | | (٣٢) |

الحل :

الفرض الصفري ف. : الطرق الأربع تؤدي في المتوسط إلى نفس الدرجة من المهارات .

من الاحصاءة (١٤) ومع ملاحظة أن $h = 20$ ، $k = 4$ نجد أن

$$\chi^2 = \frac{12}{21 \times 20} - \left(\frac{232 + 269 + 276 + 233}{5} \right) \times 3 - 21 \times 3 =$$

$$63 - 2030 \times 0.02807 =$$

$$9.2821 = \text{بدرجات حرية } k - 1 = 3$$

ولكن $\chi^2_{0.05(3)} = 7.815$ ، إذن نرفض H_0 عند مستوى الدلالة ٠.٠٥ ونحكم بأن المهارات تختلف باختلاف طرق التدريب . ويبدو أن الطريقة ب هي الأفضل .

FRIEDMAN TEST

(١٤ - ٦) اختبار فريدمان

يستخدم هذا الاختبار كبديل لطريقة تحليل التباين للتجارب التي تصمم على هيئة قطاعات كاملة التعشبية أو للتجارب ذات العاملين غير المتفاعلين ، حين لا تتوفر شروطها .

نفرض أن لدينا k من المعالجات ونرغب في اختبار ما إذا كان لهذه المعالجات تأثيرات مختلفة على وحدات متغير ما ، ونفرض أنه عند تطبيق هذه المعالجات على وحدات التجريب يدخل عامل خارجي له h من المستويات قد يؤثر في النتائج التي نحصل عليها وينبغي إذن استبعاد أثر هذا العامل . لتحقيق هذا الغرض نقوم بتعشبية هذا العامل بحيث يكون لكل مستوى من مستويات العامل الذي ندرسه نفس الفرصة للتعرض له . فنسحب k من الوحدات من كل من الـ h مجتمعات التي تمثل مستويات هذا العامل لنحصل على h من القطاعات حجم كل منها k ، ثم نقوم بتطبيق الـ k معالجات عشوائيا على وحدات كل قطاع ثم نسجل المشاهدات في جدول ذي k من الأعمدة تمثل المعالجات ، h من الصفوف تمثل القطاعات .

نبدأ طريقة فريدمان بترتيب المشاهدات في كل قطاع (صف) على حدة من

١ إلى ك بحيث يعطى الترتيب ١ للمشاهدة الأصغر ويعطى الترتيب ك للمشاهدة الأكبر . إذا كان الفرض الصفري فـ صحيحاً أى كانت المعالجات لها تأثيرات واحدة على المتغير ، ومع ملاحظة أن المشاهدات فى كل قطاع يمكن اعتبارها عينة عشوائية حجمها ك من مجتمع واحد ، فإن الترتيب العالية تتوزع بين مختلف الأعمدة فى مختلف الصفوف . أما إذا كان فـ غير صحيح فإن الترتيب العالية تميل إلى التجمع فى العمود الذى يمثل المعالجة ذات المتوسط الأكبر .

نجمع الترتيب فى كل عمود ولنرمز بالرمز تـ مجموع ترتيب العمود هـ (ق = ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥) . نريد احصاء اختيار تكشف عن وجود أو عدم وجود واحد أو أكثر من المجاميع الترتيبية تكون كبيرة بدرجة لا تحدث بالصدفة . وقد وجد أن إحدى الاحصاءات الصالحة لهذا الغرض هى تلك التى قدمها فريدمان وهى تأخذ الصيغة الآتية :

$$ص = \frac{12}{h(h+1)} \sum_{j=1}^h \frac{t_j^2}{n_j} - \frac{h(h+1)}{2} \quad (١٥)$$

حيث ك عدد الأعمدة ، هـ عدد الصفوف ، تـ مجموع الترتيب فى العمود هـ . يتوزع هذه الاحصاء قريب من توزيع χ^2 بدرجات حرية ك - ١ وبالتالي ستطوع استخدام جدول χ^2 فرفض الفرض الصفري فـ إذا كانت القيمة لمشاهدة هذه الاحصاء أكبر من القيمة الحرجة لتوزيع χ^2 عند مستوى الدلالة لذى نختاره .

مثال (١٤ - ١١) :

أراد فريق أبحاث المستهلك فى أحد مصانع فرامل الدراجات مقارنة ثلاثة أنواع من الفرامل التى ينتجها . ولما كان نوع الدراجة التى تستخدم فى التجربة قد يؤثر

في نتائج الدراسة فقد رؤى استبعاد أثر هذا العامل باستخدام تصميم القطاعات كاملة التعشية . اختير ٦ أنواع من الدرجات لتكوين ٦ قطاعات بكل منها ٣ درجات ووزعت الأنواع الثلاثة من الفرامل عشوائيا على كل قطاع . المتغير الذى تقارن به الفرامل هو الزمن بالأسابيع الذى يمضى حتى يتطلب الأمر اصلاحا أساسيا فيها . وقد سجلت هذه الأزمان في الجدول الآتى ، كما رتبنا هذه الأزمان في كل قطاع على حدة ووضعت الترتيب المناظرة بين الأقواس في نفس الجدول .

| نوع الدراجة
القطاعات | أ | ب | نوع الفرامل
ج |
|-------------------------|------------|------------|------------------|
| (١) | ٥,٢ (٢) | ٧,٣ (٣) | ٣,٠ (١) |
| (٢) | ٦,٨ (١) | ٨,٩ (٣) | ٧,٥ (٢) |
| (٣) | ٦,٣ (٢,٥) | ٦,٣ (٢,٥) | ٦,٠ (١) |
| (٤) | ١٣,٠ (١,٥) | ١٤,٨ (٣) | ١٣,٠ (١,٥) |
| (٥) | ١٢,٨ (٢,٥) | ١٢,٨ (٢,٥) | ١١,٠ (١) |
| (٦) | ١٥,٠ (٢) | ١٥,٢ (٣) | ١٤,٥ (١) |
| ت | (١١,٥) | (١٧) | (٧,٥) |

الحل :

الفرض الصفري ف : الأنواع الثلاثة من الفرامل ذات عمر واحد .

من (١٥) ، لدينا $k = 3$ ، $h = 6$.

$$ص ي = \frac{12}{4 \times 3 \times 6} [ت ي - \frac{4 \times 6}{2}]$$

$$= \frac{1}{6} [(12 - 7,5) + (12 - 17) + (12 - 11,5)]$$

$$= \frac{1}{6} \times 40,5 = 7,08$$

ولكن $\chi^2_{0,05(2)} = 5,991$ ، إذن نرفض الفرض الصفري عند مستوى الدلالة 0,05 ونحكم بأن عمر الفرامل يختلف باختلاف نوعها ، ويبدو أن النوع ب هو الأفضل .

تمارين (١٤ - ٥)

١ - أخذت عينات عشوائية من الحجم خمسة من ثلاثة أنهار كبيرة فتتجت عنها البيانات الآتية عن مستوى التلوث . استخدم طريقة كروسكال - واليس لبحث ما إذا كانت مستويات التلوث واحدة في الأنهار الثلاثة . استخدم مستوى الدلالة 0,10

| النهر الأول | النهر الثاني | النهر الثالث |
|-------------|--------------|--------------|
| ٢,٧ | ٢,٩ | ٠,٦ |
| ١,٤ | ٢,٤ | ١,٢ |
| ٢,٠ | ٣,٧ | ١,٥ |
| ١,٢ | ١,٦ | ١,٧ |
| ٢,١ | ٢,٤ | ٢,١ |

٢ - لدراسة تأثير لون الإعلان في جذب الزبائن قامت إحدى الشركات بتصميم خمسة عروض اعلانية متشابهة في كل شيء ما عدا اللون المستخدم ، ثم اختارت عشرة أشخاص عشوائيا وطلب إلى كل منهم ترتيب هذه العروض بحسب مدى جاذبيتها للعين بحيث يعطى الترتيب ١ لأكثر العروض جاذبية والترتيب ٥ لأقلها جاذبية ، فجاءت النتائج كما في الجدول الآتي . هل هناك دليل (عند المستوى ٠,١٠) على أن للون تأثير في جذب الزبائن ؟

| الأشخاص
(القطاعات) | اللون السائد | | | | |
|-----------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| | (١)
بدون ألوان | (٢)
الأحمر | (٣)
الأصفر | (٤)
الأزرق | (٥)
خليط |
| (١) | ١ | ٢ | ٤ | ٣ | ٥ |
| (٢) | ١ | ٢ | ٥ | ٣ | ٤ |
| (٣) | ٣ | ٤ | ٥ | ١ | ٢ |
| (٤) | ١ | ٢ | ٣ | ٥ | ٤ |
| (٥) | ٤ | ٥ | ١ | ٣ | ٢ |
| (٦) | ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ |
| (٧) | ٢ | ١ | ٥ | ٤ | ٣ |
| (٨) | ١ | ٢ | ٤ | ٥ | ٣ |
| (٩) | ٣ | ٥ | ١ | ٢ | ٤ |
| (١٠) | ١ | ٢ | ٥ | ٤ | ٣ |

الفصل الخامس عشر

اختيار العينات وتحليلها

SELECTION AND ANALYSIS OF SAMPLES

يقدم هذا الفصل بعض طرق اختيار العينات وكيفية تحليل ما ينجم عنها من بيانات لتقدير خواص المجتمعات التي أخذت منها .

ولقد ذكرنا في مستهل هذا الكتاب أن المجتمع الإحصائي هو مجموعة من الأشياء أو الأحداث التي تكون موضع اهتمامنا في وقت ما من حيث متغير ما أو عدة متغيرات ، وأشرنا إلى أن دراسة مجتمع ما تقتضى أن يكون هذا المجتمع معرّفا تعريفًا واضحًا خاصة فيما يتعلق بالمتغيرات التي ندرسها وطريقة قياسها وفي تحديد الوحدات التي يتكون منها المجتمع . ونظرًا لأنه من الصعب بل قد يكون من المستحيل دراسة المجتمع بكامله فإن هذه الدراسة تقوم في أغلب الحالات من خلال عينات تختار بحسب خطط معينة تتفق مع طبيعة المجتمع والهدف من دراسته .

والعينة لا تكون ذات قيمة إلا بالقدر الذي تمكّنا به من إصدار أحكام عن الثوابت الإحصائية للمجتمع الذي أخذت منه ، ومن ثم كانت ضرورة العناية القصوى باختيار العينة التي تمثل المجتمع أفضل تمثيل ممكن وبحيث تتسم بصفات تسمح بتحقيق هذا الغرض .

(١٥ - ١) المعاينة العشوائية :

من المتطلبات الرئيسية لعملية الاستدلال الإحصائي أن تكون المعاينة من المجتمع عشوائية بمعنى أن تختار العينة بخطة تضمن عدم وجود تحيز من أى نوع قد يؤثر

في اختيارها . ولا يغرب عن بالنا أننا حين نختار عينة عشوائية ما من حجم ما من مجتمع ما بخطّة ما فإنما نكون قد اخترنا واحدة من العينات العديدة التي يمكن أن نختار بنفس الخطّة وببنفس الحجم من هذا المجتمع . وإذا كانت α هي التقدير الذي وجدناه في إحدى العينات لأحد ثوابت المجتمع - كالوسط الحسابي - فإن α تكون واحدة من القيم العديدة التي توجد في العينات الأخرى والتي يمكن أن نقدر بها نفس الثابت . ولذلك نعتبر أن α هي إحدى قيم متغير عشوائى يهمنا أن نعرف توزيع احتماله لأن هذا التوزيع هو الذى نركز عليه في بناء اختبارات الدلالة وتحديد فترات الثقة وتقدير درجات الثقة فيما نصدره من قرارات عن المجتمع ، مما يدخل في موضوع الاستدلال الاحصائى . ولقد سبق الإشارة إلى ذلك في أكثر من مناسبة .

PROBABILITY SAMPLING (١٥ - ٢) المعاينة الاحتمالية

المعاينة الاحتمالية مصطلح عام يطلق على خطط المعاينة العشوائية التي تختار فيها العينة بحيث يكون لكل وحدة من وحدات المجتمع احتمال معروف للدخول فيها وبحيث تتفق طريقة الاختيار مع هذه الاحتمالات .

إن معرفة هذه الاحتمالات هي التي تتيح لنا استخدام قواعد ونظريات الاحتمال لاستنباط توزيعات الاحتمال اللازمة لعملية الاستدلال الإحصائى .

أما إذا كانت المعاينة غير عشوائية أو كانت احتمالات بعض أو كل وحدات المجتمع للدخول في العينة لا يمكن تحديده فإن العينة تكون حينئذ غير احتمالية . وفي هذه الحال لا نستطيع استخدام الاختبارات الإحصائية أو القيام بعملية الاستدلال الإحصائى بالطرق التي مرت بنا في الفصول السابقة . ومع ذلك لا يجوز التقليل من أهمية مثل هذه العينات التي يمكن الاستفادة منها بطرق أخرى .

وهناك عدة خطط للمعاينة الاحتمالية ، نتناول منها هنا الخطط الأكثر شيوعا في مختلف الميادين التطبيقية وهي : المعاينة العشوائية البسيطة - المعاينة الطبقية -

المعاينة متعددة المراحل - المعاينة المنتظمة - المعاينة المساحية . وتتوقف الخطوة التي نختارها للدراسة مجتمع ما على طبيعة هذا المجتمع من ناحية وعلى نوع الاستنتاجات التي نريد أن نخرج بها عنه من ناحية أخرى . على أن المعيار الرئيسى الذى يجب أن نضعه نصب أعيننا فى هذا الاختيار هو الحصول على أكبر قدر ممكن من الدقة فى الحكم على المجتمع بأقل مجهود ممكن وبأقل تكلفة .

وينبغى أن تُعد خطة المعاينة بالكامل قبل القيام بالتجربة والتجميع الفعلى للبيانات وبحيث تتضمن قاعدتين : قاعدة لطريقة سحب العينة من المجتمع ، وقاعدة لتقدير ثوابت المجتمع من البيانات التي نحصل عليها من العينة مع تقدير مدى الدقة فى هذه التقديرات .

سنفترض هنا لتسهيل الدراسة أن المجتمعات متتية وإن كان أغلب المجتمعات ذات أعداد غير متتية من الوحدات ، وسنهتم بصفة خاصة بتقدير ثابتين هما (١) الوسط الحسابى للمجتمع ذى متغير كمى ، (٢) النسبة ح مجتمع ذى متغير نوعى ذى حدين ، ويتبع كل من هذين التقديرين تقدير المجموع الكلى لقيم المتغير فى المجتمع مع العناية بتقدير مدى الثقة فى كل من هذه التقديرات .

(١٥ - ٣) العينة العشوائية البسيطة SIMPLE RANDOM SAMPLE

إن هذا النوع من العينات هو أهم أنواع العينات الاحتمالية وأبسطها ويتخذ أساسا لبناء كثير من خطط المعاينات الأخرى ، ولقد سبق أن قدمنا العينة العشوائية بسيطة بالبند (١ - ٢) حيث عرفناه بأنها تلك العينة التى تؤخذ من اجتماع حيث يكون لكل وحدة من وحداته احتمال متساوى للدخول فى العينة ، وبحيث يكون دخول أى وحدة فى العينة مستقلا عن الوحدات الأخرى التى قد تدخل فيها . ويمكن إثبات أن طريقة المعاينة العشوائية البسيطة للعينات التى من حجم معين n تعطي لكل مجموعة من n من وحدات المجتمع نفس الفرصة لتكوين عينة . تتخذ هذه الصيغة كمبرف آخر للعينة العشوائية البسيطة .

إن تعريف العينة العشوائية البسيطة يتضمن أن يكون اختيار العينة متروكا للصدفه وحدها . ولهذا فإن هذه العينة تكون مناسبة إذا كان المجتمع الذى نسحب منه متجانسا من حيث المتغير الذى نتناوله . وإذا كان المجتمع ذا حدين فإن المعاينة العشوائية البسيطة تكون مناسبة إذا كانت النسبة ح - وهى احتمال وقوع أى وحدة من وحدات المجتمع فى أحد قسمى المجتمع - واقعة بين ٢٠٪ و ٨٠٪ .

ولا نحتاج فى هذه المرحلة لأى أسس جديدة فى تناول العينات العشوائية البسيطة فقد كانت هى التى نتناولها طوال دراستنا فى الفصول السابقة . على أنه من المهم أن نذكر دائما أنه إذا أخذت عينة عشوائية بسيطة من مجتمع متوسطه μ وتباينه σ^2 فإن توزيع المعاينة للأوساط الحسابية للعينات التى من الحجم n يكون متوسطه $\mu = \mu$ وتباينه $\sigma^2/n = \sigma^2/n$ - راجع البند (٦ - ٢) - وإذا كان المجتمع معتدلا فإن توزيع المعاينة هذا يكون معتدلا : مع $(\sigma^2/n, \mu)$ ، وإذا لم يكن المجتمع معتدلا وكان حجم العينة كبيرا فإن توزيع المعاينة يقترب من هذا التوزيع المعتدل كلما زاد حجم العينة - راجع البند (٦ - ٣) . وهذه الحقيقة تيسر لنا التوصل إلى الاستنتاجات التى تتعلق بمتوسطات المجتمعات ومجماعها .

(١٥ - ٣ - ١) تقدير الوسط الحسابى والمجموع :

اعتبر مجتمعا حجمه N ومتوسطه μ وتباينه σ^2 . إن المجموع الكلى لوحدات هذا المجتمع هو $M = N\mu$. نريد تقدير كل من μ ، M من عينة عشوائية بسيطة s_1, s_2, \dots, s_n ، حجمها n مأخوذة من هذا المجتمع . نعلم ما يلى :

(أولا) إذا كان متوسط العينة \bar{s} حيث $\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i$

فإن هذا المتوسط هو تقدير غير متحيز للمتوسط μ للمجتمع . وبالتالى فإن

$$(١) \quad \bar{M} = N\bar{s}$$

هو تقدير غير متحيز للمجموع M للمجتمع .

(ثانيا) إذا كان تباين العينة σ^2 حيث $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (s_i - \bar{s})^2$

فإن σ^2 (١ - $\frac{1}{n}$) يكون تقديرا غير متحيز للتباين σ^2 للمجتمع ، ومن هذا نستطيع اثبات أن $\frac{\sigma^2}{n}$ (١ - $\frac{1}{n}$) ، $\frac{\sigma^2}{n}$ هما على الترتيب تقديران غير متحيزين للتباين لتوزيع المعاينة للمتوسطات وتوزيع المعاينة للمجاميع للعينات ذات الحجم n .

$$(٢) \quad \sqrt{\frac{n}{n-1}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \text{ بالمقدار } \sigma$$

$$(٣) \quad \sqrt{\frac{n}{n-1}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \text{ بالمقدار } \sigma$$

وهذان التقديران متحيزان تحيزا قليلا ولكننا نتجاوز عن ذلك في معظم التطبيقات .

يلاحظ أنه إذا كان هناك تقدير غير متحيز لتباين توزيع ما فإن جذره التربيعى ليس من الضروري أن يكون تقديرا غير متحيز للانحراف المعياري للتوزيع .

ويعرف العامل $\sqrt{\frac{n}{n-1}}$ أو مربعه بأنه عامل التصحيح للمجتمعات المنتهية Finite population correction factor ويمكن إهماله إذا كانت النسبة $\frac{n}{N}$ (وهى نسبة حجم العينة إلى حجم المجتمع) تقل عن حوالى ١٠٪ . لأن عامل التصحيح يكون فى هذه الحال قريبا من الواحد الصحيح . ويلاحظ من (٢) و(٣) أن كلا من الخطأين المعياريين σ ، σ يساوى صفرا إذا كان $n = N$ وهذا ما يجب أن يكون لأننا فى هذه الحال نكون قد استخدمنا جميع وحدات المجتمع ولا مجال للحديث عن توزيعات المعاينة أو الأخطاء المعاينة .

مثال (١٥ - ١) :

جمعت توقيعات على التماس ما فى ٦٧٦ بطاقة ، وكانت كل بطاقة قد أعدت لتكفى ٤٢ توقيعاً، غير أن بعض البطاقات اشتملت على عدد من التوقيعات يقل

عن ٤٢ . أخذت عينة عشوائية بسيطة من ٥٠ بطاقة (أى بواقع حوالى ٧,٤ ٪) وحسب عدد التوقعات بكل منها ووضعت النتيجة فى التوزيع التكرارى المبين بالجدول (١٥ - ١) .

الجدول (١٥ - ١)

| عدد التوقعات
س | التكرار
ك | عدد التوقعات
س | التكرار
ك |
|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| ٤٢ | ٢٣ | ١٤ | ١ |
| ٤١ | ٤ | ١١ | ١ |
| ٣٦ | ١ | ١٠ | ١ |
| ٣٢ | ١ | ٩ | ١ |
| ٢٩ | ١ | ٧ | ١ |
| ٢٧ | ٢ | ٦ | ٣ |
| ٢٣ | ١ | ٥ | ٢ |
| ١٩ | ١ | ٤ | ٠ |
| ١٦ | ٢ | ٣ | ١ |
| ١٥ | ٢ | | |
| | | ٥٠ | |

$$\text{مركز س} = ١٤٧١ , \text{مركز س} = ٥٤٤٩٧$$

(أولا) : نوجد تقديرا للمعد الكلى للتوقعات على هذا الافتراض .
ثانيا : نوجد فترة ثقة ٧٨ ٪ للمعد الكلى للتوقعات .

الحل :

حجم المجتمع $n = 676$ بطاقة ، حجم العينة $n = 50$ بطاقة

$$\bar{s} \text{ (أولا) } = \bar{s} = \frac{1}{n} \sum s_i = \frac{1}{50} \times 1471 = 29,42$$

وهذا هو الوسط الحسابي لعدد التوقعات في العينة .

من (١) ، نقدر العدد الكلي للتوقعات بالمقدار

$$r = n \bar{s} = 676 \times 29,42 = 19888 = \text{توقعا .}$$

(ثانيا) لإيجاد فترة الثقة المطلوبة نحتاج إلى إيجاد الخطأ المعياري للمجموع وهذا بدوره يحتاج إلى إيجاد تباين العينة s^2 كالآتي .

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum s_i^2 - \frac{(\sum s_i)^2}{n} \right]$$

$$= \frac{1}{49} (1471^2 - 50 \times 1471) = 228.98$$

$$\therefore s = 15,13$$

$$\text{من (٣) } \bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{15,13}{\sqrt{676}} = \frac{15,13 \times 676}{\sqrt{50}} = \frac{10127,48}{7,07}$$

$$= 1391,48$$

بالرغم من أن التوزيع الأصلي لعدد التوقعات يبدو بعيدا عن الاعتدال إلا أننا نستطيع أن نعتبر أن توزيع المعاينة للمتوسطات ، وبالتالي للمجاميع ، هو توزيع معتدل على وجه التقريب لأن حجم العينة كبيرا ($n = 50$) . ومن جدول المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعيارى نجد أن القيمتين الحرجتين اللتين يقع بينهما ٨٠٪ من التوزيع هما $\pm 1,28$. وكما في البند (٦ - ٦ - ٢) أو البند (٦ - ١٠ - أولاً) نجد ما يلي :

الحد الأدنى لمجموع التوقعات $= 19888 - 1391,48 \times 1,28 = 18107$
الحد الأعلى لمجموع التوقعات $= 19888 + 1391,48 \times 1,28 = 21669$
وإذن الفترة (١٨١٠٧ ، ٢١٦٦٩) هي فترة ثقة بدرجة ٨٠٪ لعدد التوقعات على الالتماس .

(أظهر العد الكلى لجميع البطاقات أن عدد التوقعات ٢١٠٤٩)

(١٥ - ٣ - ٢) تقدير النسبة ح ومجموع الوحدات :

في المجتمع ذى الحدين تكون كل وحدة من وحدات المجتمع منتمية إلى واحد من اثنين من الأقسام أ ، أ وينصب اهتمامنا على تقدير الدليل ح وهو نسبة الوحدات التى تقع في أحد القسمين وليكن القسم أ وعلى تقدير المجموع الكلى للوحدات في هذا القسم .

نفرض أننا أخذنا من هذا المجتمع عينة عشوائية بسيطة حجمها n . نذكر أنه في توزيع ذى الحدين للعينات التى من الحجم n يكون للمتغير \bar{h} وسط حسابى h وتباين h (١ - ح) كما يكون لنسبة هذا المتغير وسط حسابى ح وتباين $\frac{h(1-h)}{n}$ وعلى ذلك فإن تناول هذه الحالة يمكن أن يتخذ نفس طريقة تناول

المجتمع "كمى مع وضع ح بدلا من μ ، ح (١ - ح) بدلا من σ^2 .

وينتج ما يلي :

$$(٤) \quad \frac{r}{n} = \text{النسبة } s = \frac{r}{n}$$

وهي نسبة عدد وحدات العينة التي تنتمي إلى القسم ١ إلى العدد الكلي للوحدات في العينة ، هي تقدير غير متحيز للنسبة s .

$$(٥) \quad \text{كما أن العدد } m = h \cdot s$$

هو تقدير غير متحيز لمجموع الوحدات الواقعة في القسم ١ في المجتمع .

$$(٦) \quad \text{(ثانياً) المقدار } E_r = \frac{s}{h} \sqrt{\frac{(s-1)s}{n}} = \frac{s}{h} - 1 \sqrt{\frac{(s-1)s}{n}}$$

هو تقدير للخطأ المعياري للنسبة r

$$(٧) \quad \text{والمقدار } E_m = h \cdot E_r$$

هو تقدير للخطأ المعياري لمجموع الوحدات في القسم ١

والصيف (٥) ، (٦) ، (٧) هي نفس الصيغ (١) ، (٢) ، (٣) بعد وضع r بدلا من s ووضع $r - 1$ بدلا من s .

مثال (١٥ - ٢) :

في قائمة من ٣٠٤٢ اسما وعنوانا سحبت عينة عشوائية بسيطة من ٢٠٠ اسم فظهر فيها أن هناك خطأ في ٣٨ عنوانا . قدر العدد الكلي للعناوين التي تحتاج إلى تصحيح وأوجد الخطأ المعياري لهذا التقدير .

الحل :

$$\begin{aligned} \text{حجم المجتمع } h &= ٣٠٤٢ \quad \text{شخصا} \quad \text{وحجم العينة } n = ٢٠٠ \quad \text{شخصا} \\ r &= \frac{٣٨}{٢٠٠} = ٠,١٩ \quad \text{(نسبة العناوين الخاطئة في العينة)} \end{aligned}$$

من (٥) ، نقدر المجموع الكلي للعناوين الخاطئة بالمقدار

$$m = h \cdot s = ٣٠٤٢ \times ٠,١٩ = ٥٧٨ \quad \text{عنوانا خاطئا} .$$

من (٧) ، الخطأ المعياري لهذا المجموع هو :

$$ع_م = 3.42 = \frac{0.81 \times 0.19}{200} \sqrt{14,38}$$

وقد أهملنا عامل التصحيح لأن $\frac{v}{h} = \frac{200}{3.42} = 58.77\%$ وهى نسبة صغيرة .

(١٥ - ٣ - ٣) حجم العينة :

كما سبق القول مرارا ، كلما كبر حجم العينة كلما زادت ثقتنا فيما نستخلصه من نتائج . ولذلك ينبغي أن نحصر على ألا يكون حجم العينة صغيرا بدرجة تكون معها دقة تقديراتنا أقل مما يجب . غير أنه ينبغي فى الوقت نفسه أن نتجنب أن يكون حجم العينة كبيرا بدرجة تثقل كاهلنا بالجهد والتكاليف . وبالتالي فإن الخطوة الأولى فى عملية التجريب هى تحديد الحجم المناسب للعينة . وفى هذا الصدد نحيل القارئ إلى البند (٦ - ١٠) وبصفة خاصة إلى الصيغة (٢٣) التى تعطى الحد الأعلى لحجم العينة عندما تكون المعاينة من مجتمع معتدل ، وهى :

$$(٨) \quad \left(\frac{\sigma}{\bar{x}} \right)^2 = v$$

والصيفتين (٢٦) ، (٢٧) فى حالة المعاينة من مجتمع ذى حدين وهما :

$$(٩) \quad \text{حيث } k = 1 - \alpha \quad \left(\frac{\sigma}{\bar{x}} \right)^2 = v$$

$$(١٠) \quad \left(\frac{\sigma}{\bar{x}} \right)^2 = \frac{1}{v} \quad \text{،}$$

في كثير من الأحيان يعرف الباحث أو يكون لديه ما يدعو إلى الشك في أن المجتمع غير متجانس من حيث المتغير الذى يدرسه ، بل ينقسم إلى عدد من القطاعات تختلف الاستجابات فيها بين كل قطاع وآخر بينما تتجانس داخل كل قطاع على حدة . وإذا كان الأمر كذلك نقول إن المجتمع مقسم إلى طبقات أو شرائح تحددها تركيبة المجتمع ، وهذه الطبقات قد تكون بحسب الجنس أو العمر أو الجنسية أو المستوى الثقافى أو درجة الإصابة بمرض ما . في هذه الحال لا تكون العينة العشوائية البسيطة صالحة لتمثيل المجتمع ، بل تكون خطة المعاينة المناسبة هي تلك المسماة بالمعاينة العشوائية الطبقية البسيطة ، أو اختصارا بالمعاينة الطبقية . وتلخص هذه الخطة في تحديد طبقات المجتمع بحيث لا تتداخل طبقة مع أخرى ثم أخذ عينة عشوائية بسيطة من كل طبقة بحيث تكون المعاينة مستقلة من طبقة إلى أخرى . وتتألف العينة المطلوبة من مجموع هذه العينات الجزئية .

وتبدأ الخطة بتحديد الحجم الكلى للعينة أو النسبة التى يرى أخذها من الحجم الكلى للمجتمع ، ثم تحديد أحجام العينات الجزئية مع الأخذ في الاعتبار أحجام الطبقات والتباين داخل كل طبقة ، أو أى عوامل أخرى تؤثر في تركيب المجتمع .

مثال (١٥ - ٣) :

نفرض أن لدينا مجتمعا حجمه ٤٠٠٠ وأن الإمكانيات لا تسمح إلا بفحص عينة حجمها ٦٠ أى بنسبة $\frac{6}{40} = 0.15$ من حجم المجتمع . ونفرض أننا

نعرف أن المجتمع مقسم إلى ثلاث طبقات أحجامها ٢٠٠٠ ، ١٢٠٠ ، ٨٠٠ . نظرا لاختلاف أحجام الطبقات فإن العينة تكون أقدر تمثيلا للمجتمع إذا أخذنا للطبقة ذات الحجم الأكبر أن تسهم بقدر أكبر في العينة ، وللطبقة ذات الحجم الأصغر أن تسهم بقدر أقل . ولتحقيق هذه العدالة نستخدم الطريقة الآتية .

PROPORTIONAL ALLOCATION METHOD

تنص هذه الطريقة على أن نأخذ من كل طبقة عينة عشوائية بسيطة يتناسب حجمها مع حجم الطبقة . فإذا رمزنا لحجم المجتمع بالرمز h وللحجم الكلي للعينة بالرمز n وكان المجتمع مقسماً إلى k من الطبقات أحجامها h_1, h_2, \dots, h_k ، فإذننا نأخذ من هذه الطبقات عينات أحجامها n_1, n_2, \dots, n_k (مجموعها n) بحيث

$$\frac{n_1}{h_1} = \dots = \frac{n_2}{h_2} = \frac{n_k}{h_k}$$

مع ملاحظة أن كلا من هذه النسب يساوى $\frac{n}{h}$ وهو في هذا المثال يساوى $0,015$. ومن السهل أن نرى أن الحجم n_i الذى يؤخذ من الطبقة i يكون على الصورة

$$n_i = \frac{h_i}{h} \times n \quad \text{و} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (11)$$

ففى المثال (١٥ - ٣) تكون أحجام العينات الجزئية كما يلى - انظر الجدول (١٥ - ٢) :

$$n_1 = 2000 \times 0,015 = 30$$

$$n_2 = 1200 \times 0,015 = 18$$

$$n_3 = 800 \times 0,015 = 12$$

الجدول (١٥ - ٢)

أحجام العينات بطريقة التقسيم المتناسب

| حجم العينة
n | حجم الطبقة
n_h | الطبقة |
|-------------------|---------------------|---------|
| ٣٠ | ٢٠٠٠ | (١) |
| ١٨ | ١٢٠٠ | (٢) |
| ١٢ | ٨٠٠ | (٣) |
| ٦٠ | ٤٠٠٠ | المجموع |

الجدول (١٥ - ٣)

أحجام العينات بطريقة التقسيم الأمثل

| حجم العينة
n | الانحراف المعياري
σ | حجم الطبقة
n_h | الطبقة |
|-------------------|-------------------------------|---------------------|---------|
| ٣١ | ٤ | ٢٠٠٠ | (١) |
| ١٤ | ٣ | ١٢٠٠ | (٢) |
| ١٥ | ٥ | ٨٠٠ | (٣) |
| ٦٠ | | ٤٠٠٠ | المجموع |

إن المعاينة بطريقة التقسيم المتناسب تأخذ في الاعتبار الفروق بين أحجام الطبقات ولا تأخذ في الاعتبار الفروق بين التباينات داخل هذه الطبقات بل تعتبر أن هذه التباينات متساوية . وإذا كانت التباينات تختلف من طبقة لأخرى فمن الأفضل أن نأخذ عينات أكبر حجما من الطبقات الأكثر تشتتا وعينات أصغر حجما من الطبقات الأقل تشتتا ، ولتحقيق ذلك نستخدم الطريقة الآتية .

طريقة التقسيم الأمثل OPTIMUM ALLOCATION METHOD

تنص هذه الطريقة على أن نأخذ من كل طبقة عينة عشوائية بسيطة يتناسب حجمها مع كل من حجم الطبقة وانحرافها المعياري ، فإذا كان $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ ، ترمز إلى الانحرافات المعيارية للطبقات فإن الأحجام التي تؤخذ من هذه الطبقات تكون بحيث :

$$\frac{n_1}{\sigma_1} = \frac{n_2}{\sigma_2} = \dots = \frac{n_k}{\sigma_k}$$

ويمكن اثبات أن هذه المتساويات تؤدي إلى أن يكون الحجم n_i الذي يؤخذ من الطبقة i على الصورة الآتية :

$$n_i = \frac{n \times \sigma_i}{\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_k} \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$(12) \quad n_i \times \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \dots$$

ويلاحظ أنه إذا كانت الانحرافات المعيارية للطبقات متساوية جميعها فإن الصيغة (12) تؤول بالضبط إلى الصيغة (11) .

وفي المثال إذا كان $\sigma_1 = 4$ ، $\sigma_2 = 3$ ، $\sigma_3 = 5$ فإن أحجام العينات الجزئية تحسب كما يلي : انظر الجدول (١٥ - ٣) .

$$مح\sigma = 2000 \times 4 + 1200 \times 3 + 800 \times 5 = 15600$$

$$\therefore \sigma_1 = \frac{60}{15600} \times 4 \times 2000 = 31$$

$$\sigma_2 = \frac{60}{15600} \times 3 \times 1200 = 14$$

$$\sigma_3 = \frac{60}{15600} \times 5 \times 800 = 15$$

هذا مع ملاحظة أنه عند التعويض في أى من الصيغتين (١١) أو (١٢) نأخذ أقرب عدد صحيح للقيمة التى تنتج من هذا التعويض . وفى الصيغة (١٢) إذا كانت الانحرافات المعيارية للطبقات غير معروفة فينبغى تقديرها من عينات سابقة .
تقدير البارامترات :

بعد تحديد أحجام العينات سواء بطريقة التقسيم المتناسب أو التقسيم الأمثل نقوم بسحب العينات من الطبقات بحسب هذه الأحجام ثم نجرى ما نريد من قياسات كقياس الطول أو الوزن ... على وحدات هذه العينات لنحصل على مجموعة من القيم لكل عينة . من هذه القيم نحسب متوسطات العينات \bar{y}_1 ، \bar{y}_2 ، ... ، \bar{y}_K وانحرافاتها المعيارية s_1 ، s_2 ، ... ، s_K وذلك لاستخدامها فيما يلي :

(أولاً) تقدير متوسطات الطبقات :

نظراً لأن العينات المسحوبة هى عينات عشوائية بسيطة فإن متوسط الطبقة ومجموعها والخطأ المعيارى لتوزيع المعاينة تقدر بنفس الصيغ المبينة بالبند (١٥ - ٣ - ١) السابق .

(ثانيا) تقدير متوسط المجتمع والخطأ المعياري .

(أ) تقدير الوسط الحسابي

يقدر الوسط الحسابي μ للمجتمع تقديرا غير متحيز بالمقدار \bar{x} حيث

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

$$(13) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

مع ملاحظة أن متوسطات العينات \bar{x}_i قد رجحت بأحجام الطبقات وليس بأحجام العينات .

$$\text{وحين تكون المعاينة بطريقة التقسيم المتناسب فإن } \frac{\bar{x}_i}{n} = \frac{x_i}{N}$$

وذلك من الصيغة (١١) وفي هذه الحالة تؤول الصيغة (١٣) إلى الصيغة الآتية :

$$(14) \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i \bar{x}_i$$

أى أن الوسط الحسابي μ للمجتمع يقدر في هذه الحالة بواسطة الوسط الحسابي للملاحظات في العينة الكلية التى تنتج من ضم العينات الجزئية معا .
وفي كلتا الحالتين يقدر المجموع الكلى للمجتمع بالمقدار .

$$(15) \quad \mu = \bar{x}$$

(ب) تقدير الخطأ المعياري .

من الصيغة (١٣) يمكن إثبات أن التباين σ^2 لتوزيع المعاينة للوسط الحسابي يقدر بدلالة تباينات العينات σ_i^2 بالمقدار σ^2 حيث

$$(16) \quad \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} - 1 \right) \frac{\sigma_i^2}{N_i}$$

وحيث $\frac{h}{h} = 1$ = نسبة حجم الطبقة h إلى الحجم الكلي للمجتمع .

أما الخطأ المعياري للمتوسطات فيقدر بالجذر التربيعي لهذا المقدار .

وإذا كانت المعاينة الطبقية بالتقسيم المتناسب للأحجام فإن عوامل التصحيح تكون واحدة لجميع الطبقات وكل منها يساوى $1 - \frac{h}{H}$ كما أن

$$h \times \frac{h}{H} = h^2$$

وبالتعويض بهذا المقدار في (١٦) تؤول إلى الصيغة الآتية

$$e^2 = \frac{1}{h} (1 - \frac{h}{H}) e^2 \quad (١٧)$$

وإذا أمكن أن نعتبر أن تباينات الطبقات e^2 متساوية وكل منها يساوى e^2 فإن الصيغة (١٧) لحالة التقسيم المتناسب تؤول إلى الصيغة البسيطة الآتية :

$$e^2 = (1 - \frac{h}{H}) e^2 \quad (١٨)$$

والجذر التربيعي لهذه الصيغة هو بالضبط الصيغة (٢) لتقدير الخطأ المعياري في حالة المعاينة العشوائية البسيطة من مجتمع منتهى فيما عدا أن التباين المشترك e^2 يحسب هنا من داخل العينات الجزئية كآلاتي :

$$e^2 = \frac{1}{h} [e^2 (1 - \frac{h}{H}) + e^2 (1 - \frac{h}{H}) + \dots + e^2 (1 - \frac{h}{H})] \quad (١٩)$$

وفي جميع الحالات تقدر تباينات الجاميع من تباينات المتوسطات بالضرب في مربع حجم المجتمع وهو h^2 .

مثال (١٥ - ٤) :

في المثال (١٥ - ٣) إذا كانت أحجام العينات قد حسبت بطريقة التقسيم المتناسب ، وعلى فرض تساوى تباينات الطبقات ، فابعد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لمتوسط المجتمع علما بأن الأوساط الحسابية والانحرافات المعيارية للعينات كالآتي :

$$s_1 = 7, s_2 = 10, s_3 = 13, s_4 = 3, s_5 = 2,5, s_6 = 4$$

الحل :

من الجدول (١٥ - ٢) والصيغة (١٤) نجد أن

$$s_p^2 = \frac{1}{n} \sum s_i^2$$

$$s_p^2 = \frac{1}{6} (13^2 + 10^2 + 7^2 + 3^2 + 2,5^2 + 4^2) = 9,1$$

من الصيغة (١٩) نقدر التباين المشترك للطبقات كالآتي :

$$s_{p, \bar{y}}^2 = \frac{1}{n - 1} (16 \times 11 + 6,25 \times 17 + 9 \times 29) = 9,53$$

$$\therefore s_{p, \bar{y}} = 3,09$$

من الصيغة (١٨) نقدر الخطأ المعياري لتوزيع المعاينة للأوساط الحسابية كالآتي مع ملاحظة أن عامل التصحيح قريب من الواحد ويمكن إهماله :

$$s_{\bar{y}} = \frac{s_{p, \bar{y}}}{\sqrt{n}} = \frac{3,09}{\sqrt{60}} = 0,40$$

ولما كان حجم العينة كبيرا ($n = 60$) يمكن أن نعتبر أن توزيع المعاينة معتدلاً ويكون حداً الثقة بدرجة ٩٥٪ لمتوسط المجتمع على الصورة الآتية :

$$\bar{S} \pm E \times 1,96$$

$$\therefore \text{الحد الأدنى للفترة} = 9,1 - 0,40 \times 1,96 = 8,32$$

$$\text{والحد الأعلى للفترة} = 9,1 + 0,40 \times 1,96 = 9,88$$

وبذلك تكون الفترة (8,32 ، 9,88) هي فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لتوسط المجتمع .

مثال (١٥ - ٥) :

في المثال (١٥ - ١) إذا كانت أحجام العينات قد حسبت بطريقة التقسيم الأمثل فابعد فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ لتوسط المجتمع علماً بأن الأوساط الحسابية للعينات هي $\bar{S}_1 = 8$ ، $\bar{S}_2 = 12$ ، $\bar{S}_3 = 13$ وأن الانحرافات المعيارية للطبقات هي كما جاءت بالجدول (١٥ - ٣) : $\sigma_1 = 4$ ، $\sigma_2 = 3$ ، $\sigma_3 = 5$.

الحل :

من الجدول (١٥ - ٣) والصيغة (١٣) نجد أن

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum S_i$$

$$= \frac{1}{4000} (13 \times 800 + 12 \times 1200 + 8 \times 2000) = 10,2$$

من الصيغة (١٦) نقدر الخطأ المعياري لتوزيع المعاينة للأوساط الحسابية كالتالي ، مع إهمال عوامل التصحيح لقرب كل منها من الواحد الصحيح .

$$\text{لدينا : } \sigma_1 = \sqrt{\left(\frac{2000}{4000}\right)} = 0,71 \text{ ، } \sigma_2 = \sqrt{\left(\frac{1200}{4000}\right)} = 0,55$$

$$0,04 = r^2 \left(\frac{800}{2000} \right) = r^2$$

$$0,204 = \frac{20 \times 0,04}{10} + \frac{9 \times 0,09}{14} + \frac{16 \times 0,25}{31} = r^2 \therefore$$

$$0,50 = r^2 \therefore$$

ويكون حدا الثقة بدرجة ٩٩٪ لتوسط المجتمع على الصورة

$$\bar{r} \pm 2,58 \times \sigma_r$$

وبالتعويض في هذه الصيغة نجد أن الفترة (٨,٩١ ، ١١,٤٩) هي فترة ثقة بدرجة ٩٩٪ لتوسط المجتمع .

مثال (١٥ - ٦) :

حسب تعداد السكان في سنة ما في ٦٤ مدينة من مدن إحدى الدول . وقد قسمت هذه المدن إلى طبقتين تتألف الأولى من المدن الأكبر حجما وتتألف الثانية من الـ ٤٨ مدينة وتتألف الثانية من الـ ٤٨ مدينة الباقية ، ولخصت البيانات في الجدول الآتي .

الجدول (١٥ - ٤)

| الطبقة | الحجم n_i | \bar{x}_i | s_i^2 |
|--------|-------------|-------------|---------|
| (١) | ١٦ | ١٠٠٧٠ | ٧١٤٥٥٤٠ |
| (٢) | ٤٨ | ٩٤٩٨ | ٢١٤١٧٢٠ |

إذا قُدر المجموع الكلي للسكان في تلك السنة من عينة من ٢٤ مدينة فأوجد الخطأ المعياري لهذا التقدير

(أولاً) إذا كانت العينة عشوائية بسيطة ،

(ثانياً) إذا كانت العينة طبقية ذات تقسيم متناسب ،

(ثالثاً) إذا كانت العينة طبقية وأخذت ١٢ مدينة من كل طبقة .

الحل :

من البيانات المعطاة نستطيع أن نحسب تباين المجتمع وتباينات الطبقات ولا حاجة لنا إذن لتقدير هذه التباينات من العينة .

(أولاً) إذا كانت العينة عشوائية بسيطة فإنها تكون قد أخذت من المجتمع ككل بصرف النظر عن الطبقات . ويكون لدينا ما يلي :

حجم المجتمع $h = ٦٤$ مدينة ، حجم العينة $n = ٢٤$ مدينة

$\sum s = ١٠٠٧٠ + ٩٤٩٨ = ١٩٥٦٨$ ألف نسمة (مجموع السكان)

$\sum s^2 = ٧١٤٥٥٤٠ + ٢١٤١٧٢٠ = ٩٢٨٧١٧٠$

\therefore تباين المجتمع $\sigma^2 = \frac{1}{٦٤} \left[\frac{(١٩٥٦٨)^2}{٦٤} - ٩٢٨٧١٧٠ \right] = ٥١٦٢٨,٩٧$

$\therefore \sigma = ٢٢٧,٢٢$

من الصيغة (٣) : $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{٢٢٧,٢٢}{\sqrt{٢٤}} = ٤٤,٧$

$= ٢٣٤٦,٧٢$ (الخطأ المعياري لمجموع السكان)

(ثانيا) إذا كانت المعاينة طبقية وبالتقسيم المتناسب فإن حجمي العينتين يكونان كالآتي :

$$١٨ = ٤٨ \times \frac{٢٤}{٦٤} = ١٨ , ٦ = ١٦ \times \frac{٢٤}{٦٤} = ٦ , ١٨ = ٤٨ \times \frac{٢٤}{٦٤} = ١٨$$

$$٥٠٤٧٧,٧٤ = \left[\frac{(١٠٠٧٠)}{١٦} - ٧١٤٥٤٥٠ \right] \frac{١}{١٦} = ١٨ \text{ تباين الطبقة الأولى ع } ١٨$$

$$٥٤٦٤,٦٥ = \left[\frac{(٩٤٩٨)}{٤٨} - ٢١٤١٧٢٠ \right] \frac{١}{٤٨} = ١٨ \text{ تباين الطبقة الثانية ع } ١٨$$

نلاحظ أن تباين الطبقة الأولى حوالى عشرة أمثال تباين الطبقة الثانية ولذلك لا نستطيع اعتبارهما متساويين .

بضرب الصيغة (١٧) فى مربع حجم المجتمع ينتج أن تباين مجموع المجتمع هو

$$[٥٤٦٤,٦٥ \times ٤٨ + ٥٠٤٧٧,٧٤ \times ١٦] \left(\frac{٢٤}{٦٤} - ١ \right) \frac{٢٤}{٦٤ \times ٢٤} = ١٨$$

$$١٧٨٣٢٤٥ = ١٠٦٩٩٤٧ \times \frac{١}{٢٤} =$$

$$١٣٣٥,٣٨ = ١٨ \text{ ع } \therefore$$

(ثالثا) إذا كانت المعاينة طبقية وأخذنا $١٨ = ١٨ = ١٨$ نستخدم الصيغة العامة (١٦) بعد ضربها فى مربع حجم العينة مع ملاحظة ما يلى :

$$١,٢ = ١,٢ = ١,٢ , ١,٢ = ١,٢ , ١,٢ = ١,٢ , ١,٢ = ١,٢$$

$$\frac{٢٤}{٤٨} = \frac{١٢}{٢٤} - ١ , \frac{١}{١٦} = \left(\frac{١٢}{١٦} - ١ \right) ,$$

$$\left[\frac{٣٦}{٤٨} \times ٥٤٦٤,٦٥ \times \frac{٢٤}{٢٤} + \frac{١}{١٦} \times ٥٠٤٧٧,٧٤ \times \frac{١٦}{١٦} \right] \frac{٢٤}{١٢} = ١٨$$

$$= \frac{1}{17} (36 \times 5464,60 \times 48 + 4 \times 50.477,74 \times 16)$$

$$= 1.06124,1$$

$$\therefore E_c = 1027,68$$

في هذا المثال ، بمقارنة الأخطاء المعيارية وهي ٢٣٤٦,٧٢ ، ١٣٣٥,٣٨ ، ١٠٢٧,٦٨ نجد أن أخذ حجمين متساويين للعينتين كان أكثر دقة من طريقة التقسيم المتناسب وكلاهما أدق كثيرا من طريقة المعاينة العشوائية البسيطة .

المعاينة الطبقيّة من مجتمع ذي حدين :

نستخدم نفس الصيغ التي قدمت في حالة المعاينة الطبقيّة من مجتمعات كمية مع وضع النسب π_1 ، π_2 ، ، π_h المحسوبة من العينات بدلا من المتوسطات الحسابية ووضع التباينات σ^2 (١ - π) بدلا من التباينات E^2 .
ففي تحديد أحجام العينات نستخدم نفس الصيغة (١١) وهي

$$n = \frac{N}{h} \times \pi_h \quad (20)$$

في حالة استخدام طريقة التقسيم المتناسب . أما في حالة التقسيم الأمثل فنستخدم الصيغة (١٢) بعد وضعها كالآتي :

$$n_h = \frac{N}{h} \times \pi_h \sqrt{\frac{\pi_h}{(1 - \pi_h)}} \quad (21)$$

حيث π_h هو نسبة وقوع الحدث في الطبقة h .

وفي تقدير النسبة π_h وهي احتمال وقوع الحدث في المجتمع نستخدم الصيغة (١٣) بعد وضعها في الصورة الآتية :

$$(22) \quad \frac{1}{2} = 5$$

وحيث تكون المعاينة بطريقة التقسيم المتناسب تؤول هذه الصيغة إلى :

$$(23) \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x} = \infty$$

وهذا يعنى أننا فى هذه الحالة نقدر الاحتمال H فى المجتمع بواسطة النسبة المشاهدة فى العينة الكلية التى تتألف من ضم جميع العينات الجزئية .

كذلك ، لتقدير الخطأ المعياري σ ، لتوزيع المعاينة للنسبة r نستخدم الصيغة (١٦) بعد وضعها كالاتي :

$$(24) \quad \sqrt{\left(\frac{u^2}{u^2} - 1\right) \frac{(u^2 - 1)u}{u^2} \times \frac{1}{u}} = \frac{1}{u}$$

حيث $\omega = \omega_0 / \omega_0$

وحيث تكون المعاينة بطريقة التقسيم المتناسب وعلى فرض تساوى تباينات الطبقات
نستخدم الصيغة (١٨) وهى

$$(20) \quad \frac{\frac{1}{2} - 1}{2} \sqrt{\frac{2}{2}} = \frac{1}{2}$$

حيث $E = \frac{1}{(1 - \nu) \epsilon} = \frac{1}{(1 - \nu) \epsilon}$ (٢٦)

هو تقدير للتباين المشترك للطبقات .

مثال (١٥ - ٧) :

كان عدد الأطفال في إحدى المدن الكبرى ٤٣١٥٤٢ طفلاً . وفي إحدى التجارب كان المطلوب تحديد فترة ثقة بدرجة ٩٥٪ لنسبة الإصابة بمرض ما بين هؤلاء الأطفال عن طريق عينة من ٤٥٠ طفلاً أى بواقع $\frac{450}{431542} = 0,0014$ تقريباً . وقد قسم المجتمع إلى ثلاث طبقات بحسب كثافة السكان ، إذ كان من المعتقد أن الإصابة بهذا المرض تختلف باختلاف هذه الكثافة . وقد وجد أن أعداد الأطفال في هذه الطبقات ٢٢٠٣٨٦ ، ١٤٦٠٣١ ، ٦٥١٢٥ .

الحل :

نظراً لعدم وجود معلومات عن تباينات الإصابة بالمرض في الطبقات فقد استخدم لتحديد أحجام العينات طريقة التقسيم المتناسب بحسب الصيغة (١١) وهى

$$n_i = n \times \frac{N_i}{N}$$

$$\therefore n_1 = 220386 \times \frac{450}{431542} = 45 \text{ طفلاً}$$

$$n_2 = 146031 \times \frac{450}{431542} = 152 \text{ طفلاً ،}$$

$$n_3 = 65125 \times \frac{450}{431542} = 68 \text{ طفلاً ،}$$

وقد اختيرت عينات عشوائية بسيطة من تلك الطبقات بحسب الأحجام الناتجة . وبفحص الأطفال وجد أن أعداد الأطفال المصابين بالمرض ونسبة هذه الإصابة في العينات كما هو مبين بالعمودين الآخرين من الجدول (١٥ - ٥) الآتى :

الجدول (١٥ - ٥)

أعداد المصابين بالمرض ونسب هذه الإصابة

| نوع الطبقة | حجم الطبقة
هـ | حجم العينة
ن | عدد المصابين
في العينة | نسبة الإصابة %
س |
|-----------------|------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| شديدة الازدحام | ٢٢٠٣٨٦ | ٢٣٠ | ١٦٤ | ٧١,٣ |
| متوسطة الازدحام | ١٤٦٠٣١ | ١٥٢ | ٩٢ | ٦٠,٥ |
| قليلة الازدحام | ٦٥١٢٥ | ٦٨ | ١٨ | ٢٦,٥ |
| المجموع | ٤٣١٥٣٢ | ٤٥٠ | ٢٧٤ | ٦٠,٩ |

نظرا لأننا استخدمنا طريقة التقسيم المتناسب فإن نسبة الإصابة بالمرض في مجتمع الأطفال تقدر بنسبة الإصابة في العينة الكلية وهي

$$s = ٦٠,٩\%$$

نظرا لافتراضنا أن التباينات متساوية في الطبقات فإننا نقدر التباين المشترك بالصيغة (٢٦) كما يلي :

$$s^2 = \frac{1}{٤٤٧} (٢٢٩ \times ٠,٧١٣ \times ٠,٢٨٧ + ١٥١ \times ٠,٦٠٥ \times ٠,٣٩٥ + ٦٧ \times ٠,٢٦٥ \times ٠,٧٣٥)$$

$$= ٠,٢١٤٨$$

$$\therefore \bar{e} = 0,463$$

∴ الخطأ المعيارى لتوزيع المعاينة للنسبة r للعينات التى من الحجم ٤٥٠ هو حسب الصيغة (٢٥) :

$$\bar{e} = \frac{0,463}{\sqrt{450}} = 0,022 \text{ (مع إهمال عامل التصحيح لقربه من الواحد)}$$

فى عينة بالحجم ٤٥٠ يكون المتوسط النسبى موزعا توزيعا معتدلا على وجه التقريب وبالتالى يكون حدا الثقة بدرجة ٩٥٪ لمتوسط الإصابة بالمرض فى المجتمع $\bar{e} \pm 1,96 \times 0,022 \pm 0,043$ أى $0,609 \pm 0,022 \times 1,96$. وبجساب هاتين القيمتين نجد أن الفترة المطلوبة هى (٥٦,٦ ٪ ، ٦٥,٢ ٪) .

(١٥ - ٥) العينة المتعددة المراحل MULTISTAGE SAMPLE

(أو العينة العشية nested sample)

حين يكون المجتمع كبيرا نضطر أحيانا إلى اختيار العينة عن طريق سلسلة من المراحل . وكمثال لذلك نفرض أننا نريد اختيار عينة لتقدير عدد الحالات من المرضى الذين فحصوا بالأشعة فى أسبوع فى المستشفيات الحكومية بدولة ما . فى هذه الحال يصعب بل يستحيل تصميم خطة للمعاينة من المرضى مباشرة ، ولذلك نلجأ إلى المعاينة على مراحل كما يلى . نجرى حصرا بالمحافظات أو المناطق الجغرافية التى بها مستشفيات حكومية . تبدأ المعاينة باختيار عينة عشوائية بسيطة من هذه المناطق حجمها n_1 منطقة ونسجل أسماء المستشفيات الحكومية بكل منها ، وهذه هى المرحلة الأولى . نأخذ من كل منطقة من المناطق السابق اختيارها عينة عشوائية بسيطة من المستشفيات حجمها n_2 من المستشفيات وهذه هى المرحلة الثانية وبذلك يكون لدينا $n_1 \times n_2$ مستشفى . نأخذ من كل من هذه المستشفيات

عينة عشوائية بسيطة من المرضى الذين دخلوها أو كانوا مقيمين بها في الأسبوع المحدد وليكن حجمها n مريضاً وهذه هي المرحلة الثالثة والأخيرة ، وبذلك نكون قد حصلنا على عينة إجمالية حجمها $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_p$ من المرضى ، ونستطيع حينئذ أن نفحص ملفاتهم لمعرفة عدد الذين فحصوا بالأشعة .

وقد يكون من المناسب أحيانا استخدام التقسيم الطبقي في واحدة أو أكثر من مراحل المعاينة إذا استدعى الأمر ذلك فتقسم المناطق الجغرافية مثلاً إلى مدن كبيرة ومدن صغيرة وقرى ، أو تقسم المستشفيات بحسب التخصص ، أو يقسم المرضى بحسب الجنس .

وكمثال آخر ، نفرض أننا نريد تقدير متوسط طول قفلة القطن في بالة كبيرة من القطن . نأخذ عدة حفنات من القطن عشوائياً من جوانب مختلفة من البالة وهذه مرحلة أولى . نأخذ كل حفنة من الحفنات التي اخترناها ونقسمها إلى جزعين نرمي أحدهما ونحتفظ بالآخر وهذه مرحلة ثانية . نكرر هذه العملية عدة مرات حتى نحصل على عدد مناسب من الفتلات لقياسها وحساب متوسط الطول فيها .

يلاحظ في هذا المثال أن الوحدات المختارة في كل مرحلة على هيئة « مجموعات » aggregates وليست على هيئة مفردات . في مثل هذه الحالة توصف المعاينة بأنها معاينة عنقودية cluster sampling ومن أمثلتها أيضاً سحب عينات من رمال أحد الشواطئ أو سحب عبوات من ماء مجرى نهر ، أو سحب فصول كاملة من عدد من المدارس .

ومن الحالات التي تستلزم المعاينة المتعددة المراحل تلك التي تحتاج إلى إجراء الاختبارات الكيميائية أو الفيزيائية أو البيولوجية التي يصعب إجراؤها إلا على أجزاء صغيرة من المادة المختبرة كما في المثال (١٥ - ٨) الآتي .

التحليل الإحصائي :

يحتاج تحليل العينات متعددة المراحل إلى استخدام أسلوب تحليل التباين بالتموج عشوائى التأثيرات - راجع البند (٨ - ١٤) - ولنرى ذلك نبدأ بتناول العينة ذات المرحلتين مستعينين بالمثال (٨ - ١٦) حيث كان اهتمامنا بتقدير نسبة الكلسيوم في أوراق اللفت الأخضر وكانت المعاينة على مرحلتين أولهما أخذ عينة عشوائية من أوراق النبات ، وتسمى وحدات هذه العينة بالوحدات الابتدائية primary sampling units ، وثانيهما أخذ عينة عشوائية من أجزاء كل ورقة وقياس نسبة الكلسيوم ، وتسمى وحدات هذه العينة بوحدات المرحلة الثانية second-stage units, or sub-units . ولقد اعتبرنا أن الوحدات الابتدائية هي عينة عشوائية من « المعالجات » وأن نسب الكلسيوم هي القيم الناتجة تحت تأثير هذه المعالجات . ومن ثم كان تحليلنا للبيانات عن طريق تحليل التباين بالتموج عشوائى التأثيرات الذى يأخذ الصيغة الآتية :

$$\text{سمى} = \mu + \alpha + \text{سمى}$$

لقد قدمنا في البند (٨ - ١٤) تفصيلا لهذا التحليل مدعما بالمثالين (٨ - ١٦) و(٨ - ١٧) وليس هناك ما يدعو لتكرار ذلك هنا .

نقوم الآن بتحليل عينة ذات ثلاث مراحل ونستعين في ذلك بالمثال (٨ - ١٥) الآتى .

مثال (٨ - ١٥) :

اعتبر تجربة المثال (٨ - ١٦) عن محتوى الكلسيوم في أوراق نبات اللفت الأخضر . وافرض أننا لم نبدأ باختيار عينة عشوائية من الأوراق بل بدأنا بعينة عشوائية من نبات اللفت ذاته حجمها $k = 4$ نباتات (الوحدات الابتدائية) ثم أخذنا من كل نبات عينة عشوائية من $a = 3$ ورقات (وحدات المرحلة الثانية)

ثم أخذنا من كل ورقة عينة عشوائية من $b = 2$ من الأجزاء وزن كل منها ١٠٠ ملليجرام (وحدات المرحلة الثالثة) فحصلنا بذلك على $4 \times 3 \times 2 = 24$ جزءا من أوراق النبات هي التي نقوم بقياس محتوى الكلسيوم فيها . نفرض أن القياسات جاءت كما في الجدول (١٥ - ٦) الآتي .

الجدول (١٥ - ٦)

النسب المئوية للكلسيوم لـ $b = 2$ جزءا من كل من $a = 3$ ورقة من كل من $k = 4$ نباتا

| النبات | (١) | (٢) | (٣) | (٤) |
|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------|
| الأوراق | ا ب ح | ا ب ح | ا ب ح | ا ب ح |
| نسبة الكلسيوم | ٢,٨٨ ٣,٥٢ ٣,٢٨ | ٢,٤٦ ١,٨٧ ٢,١٩ | ٢,٧٧ ٣,٧٤ ٢,٥٥ | ٣,٧٨ ٤,٠٧ ٣,٣١ |
| ل جزئي كل ورقة | ٢,٨٠ ٣,٤٨ ٣,٠٩ | ٢,٤٤ ١,٩٢ ٢,١٩ | ٢,٦٦ ٣,٤٤ ٢,٥٥ | ٣,٨٧ ٤,١٢ ٣,٣١ |
| المجموع للورقة | ٨,٣٧ ١٠,٠٠ ٨,٦٥ | ٤,٩٠ ٣,٧٩ ٤,٣٨ | ٥,٤٣ ٧,١٨ ٥,١٠ | ١١,٦٢ ١٢,١٩ ١١,٦٥ |
| المجموع للنبات | ١٩,٠٥ | ١٣,٠٧ | ١٧,٧١ | ٢٢,٤٦ |
| | | | | ٧٢,٢٩ |

(في هذا المثال أخذنا عددا متساويا من الأوراق من كل نبات وكان من الممكن أي يختلف هذا العدد من نبات إلى آخر . وكذلك بالنسبة لعدد الأجزاء التي أخذت من كل ورقة .)

إذا كانت S_{ijk} ترمز إلى نسبة الكلسيوم في الجزء k من الورقة j من النبات i فإن النموذج الإحصائي للتحليل هو امتداد للنموذج (٢٣) :

$$S_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{ijk} \quad (٢٨)$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \text{ و } j = 1, 2, 3 \text{ و } k = 1, 2, 3, 4$$

حيث أن تشير إلى النباتات ، تشير إلى الأوراق .
ولإمكانية التحليل الإحصائي سنفترض كالمعتاد أن

أ : مع (٥ ، ٠) ، ب : مع (٥ ، ٠) ، ج : مع (٥ ، ٠) مع (٥ ، ٠) (٢٩)

في تحليل التباين نفصل مجموع المربعات الكلي للقياسات (نسب محتوى الكلسيوم) إلى مصادر مستقلة للاختلاف . وفي هذا المثال نجد أن هذه المصادر هي : النباتات - أوراق نفس النبات - محتوى الكلسيوم بأجزاء نفس الورقة . ولايجاد الاختلافات في هذه المصادر نحسب بالطريقة المعتادة كلا من
٢ ٢ (الكلي) ، ٢ ٢ (بين النباتات) ، ٢ ٢ (بين الأوراق) أما الاختلافان الباقيان فنحسبهما من هذه الاختلافات كالآتي :

(١) ٢ ٢ (بين أوراق نفس النبات) = ٢ ٢ (بين الأوراق) - ٢ ٢ (بين النباتات)

(٢) ٢ ٢ (بين القياسات على نفس الورقة) = ٢ ٢ (الكلي) - ٢ ٢ (بين الأوراق)

وفي المثال نجد من الجدول (١٥ - ٦) ما يلي .

$$\text{عامل التصحيح} = \frac{12}{n} = \frac{172,29}{24} = 7,17875$$

$$22 \text{ (الكلي)} = 13,28 + 13,09 + \dots + 13,31 + 13,31 = 217,7435$$

$$10,2704 = \text{بدرجات حرية } n - 1 = 23$$

$$22 \text{ (بين النباتات)} = \frac{1}{4} (19,05 + 13,07 + 17,71 + 22,46) - 217,7435 =$$

$$7,5603 = \text{بدرجات حرية } k - 1 = 3$$

$$22 \text{ (بين الأوراق)} = \frac{1}{4} (16,37 + 17,00 + \dots + 18,19 + 16,62) \\ - 217,7435 =$$

$$10,1905 = \text{بدرجات حرية أ ك} - 11$$

$$\therefore 22 \text{ (بين أوراق نفس النبات)} = 10,1905 - 7,5603$$

$$8 = 2,6302 \text{ بدرجات حرية أ ك} - 8$$

$$22 \text{ (بين القياسات على نفس الورقة)} = 10,2704 - 10,1905$$

$$12 = 0,0799 \text{ بدرجات حرية ن أ ك} - 12$$

وينتج جدول التباين الآتي :

الجدول (١٥ - ٧)

| مصدر التباين | 22 | د ح | تقدير التباين | التباين المتوقع |
|---|---------|-----|---------------------------|--|
| بين النباتات | 7,5603 | 3 | \bar{y}^2
$2,5201 =$ | $\sigma^2 + \sigma^2$
$\sigma^2 + \sigma^2$ |
| بين الأوراق داخل النباتات | 2,6302 | 8 | \bar{y}^2
$0,3288$ | $\sigma^2 + \sigma^2$ |
| بين القياسات داخل الأوراق داخل النباتات | 0,0799 | 12 | \bar{y}^2
$0,0067$ | |
| الكل | 10,2704 | 23 | | |

من العمود الأخير نلاحظ أن كل مركبة من مركبات التباين داخلية في المركبة السابقة لها ، ولهذا يمكن بسهولة أن نرى ما يلي :

$$ع' \text{ هو تقدير غير متحيز للتباين } \sigma^2 \quad (٣٠)$$

$$ب' = (ع' - ب' \text{ هو تقدير غير متحيز للتباين } \sigma^2) \quad (٣١)$$

$$\frac{1}{ب'} (ع' - ب') \text{ هو تقدير غير متحيز للتباين } \sigma^2 \quad (٣٢)$$

ففى هذا المثال نجد التقديرات الآتية :

$$(١) \text{ تقدير } \sigma^2 = ٠,٠٠٦٧$$

$$(٢) \text{ تقدير } \sigma^2 = \frac{1}{٧} = (٠,٠٠٦٧ - ٠,٣٢٨٨) = ٠,١٦١١$$

$$(٣) \text{ تقدير } \sigma^2 = \frac{1}{٧} = (٠,٣٢٨٨ - ٢,٥٢٠١) = ٠,٣٦٥٢$$

كما نجد التقديرين الآتيين :

(٤) يقدر الوسط الحسابى μ للنسبة المئوية للكسيوم فى المجتمع بالوسط الحسابى للعينة وهو :

$$\bar{x} = \frac{٧٢,٢٩}{٢٤} = ٣,٠١$$

(٥) يقدر الخطأ المعياري لتوزيع المعاينة للوسط اخصافى كالاتى :

$$(٣٣) \text{ تقدير } \sigma^2 = \frac{\text{التباين بين النباتات (الوحدات الابتدائية)}}{\text{حجم العينة}} = \frac{ع'}{ن}$$

$$= ٠,١٠٥ = ٢٤ \div ٢,٥٢٠١$$

ومن الجذر التربيعى لهذه القيمة نستطيع حساب فترات الثقة للوسط الحسابى لنسبة محتوى الكسيوم فى المجتمع .

الاختبارات الإحصائية :

يهيئنا هنا إجراء الاختبارين الآتين :

(أولا) اختبار ما إذا كان محتوى الكلسيوم يختلف من نبات إلى آخر .

وهذا يعنى اختبار الفرض الصفرى $\sigma^2 = 0$ - راجع البند (٨ - ١٤) .
ومن الجدول (١٥ - ٧) نرى أنه إذا كان هذا الفرض صحيحا فإن χ^2_{α} ، χ^2_{β}
يكونان تقديرين مستقلين لنفس التباين وإذن الاختبار المناسب لهذا الفرض هو
اختبار ف بالصورة الآتية :

$$ف = \frac{\chi^2_{\alpha}}{\chi^2_{\beta}} = \text{بدرجتى حرية } k - 1, l - k \quad (34)$$

$$\therefore \text{فى } 7,66 = \frac{2,0201}{0,3288} = \text{بدرجتى حرية } 3, 8$$

وهذه القيمة تزيد عن القيمة الحرجة $F_{[8,3],0.01} = 7,59$ مما يدعونا إلى رفض
الفرض الصفرى عند المستوى ٠,٠١ واستنتاج أن محتوى الكلسيوم لا يتساوى
فى جميع النباتات .

(ثانيا) اختبار ما إذا كان محتوى الكلسيوم يختلف من ورقة إلى أخرى . وهذا
يعنى اختبار الفرض الصفرى $\sigma^2 = 0$ ومن الجدول (١٥ - ٧) نرى أنه إذا
كان هذا الفرض صحيحا فإن χ^2_{α} ، χ^2_{β} يكونان تقديرين مستقلين للتباين σ^2
وإذن الاختبار المناسب هو :

$$ف = \frac{\chi^2_{\alpha}}{\chi^2_{\beta}} = \text{بدرجتى حرية } l - k, n - l \quad (35)$$

بدرجتي حرية ٨ ، ١٢

$$\therefore \text{في} = \frac{0,3288}{0,0067} = 49$$

وهذه القيمة تزيد كثيرا عن القيمة الحرجة ف $0,01$ [١٢، ٨] $= 4,50$ مما يجعلنا نرفض الفرض الصفري عند مستوى عالى من الدلالة ونحكم بأن محتوى الكلسيوم لا يتساوى في جميع الأوراق .

SYSTEMATIC SAMPLE

(١٥ - ٦) العينة المنتظمة

تتخذ المعاينة المنتظمة الأسلوب المبين بالمثال الآتي . نفرض أن أحد الجيولوجيين مهم بدراسة محتوى المعادن الثقيلة في البطانة المعدنية mineral suit لمنطقة رملية بها $h = 1000$ طبقة بارزة من الصخور outcrops ممتدة في صف على سطح الأرض ، والمطلوب اختيار عينة حجمها $n = 50$ صخرة لتحليلها وفصل المعادن منها ، على أن تؤخذ وحداتها بحيث تكون موزعة توزيعا متعادلا على المنطقة . لتحقيق ذلك نرقم الصخور من ١ إلى ١٠٠٠ ثم نقسمها إلى $n = 50$ قسما بحيث يحتوي كل قسم على نفس العدد من الصخور أى على $k = 20$ صخرة $(1000 \div 50 = 20)$. نختار عشوائيا عددا يقع بين ١ ، ٢٠ ليحدد رقم الصخرة التي تؤخذ من القسم الأول . فمثلا إذا كان العدد العشوائى ٣ يكون هذا العدد هو رقم الصخرة الأولى في العينة ، ثم نأخذ بانتظام أعدادا يزيد كل منها عن سابقه بمقدار ٢٠ فتكون أرقام الصخور التي تدخل في العينة هي ٣ ، ٢٣ ، ٤٣ ، ٦٣ ، ٨٣ ، ١٠٣ ، ١٢٣ ، ١٤٣ . أما إذا كان العدد العشوائى الذي اختير في البداية هو ١٥ فإن أرقام الصخور تكون في هذه الحال ١٥ ، ٣٥ ، ٥٥ ، ٧٥ ، ٩٥ ، ١١٥ ، ١٣٥ ، ١٥٥ ، ١٧٥ ، ١٩٥ .

في هذا المثال كان حجم المجتمع h مضاعفا صحيحا لعدد الأقسام $(h = n \cdot k)$ ولذلك فإن أى عينة تختار بهذه الطريقة تأخذ نفس الحجم n . أما إذا

كان $h \neq 0$ فإِنَّ العينات لا تكون جميعها من حجم واحد بل قد يزيد حجم بعضها بواحد عن البعض الآخر . فمثلاً نفرض أن $h = 23$ ، $k = 5$.
 إن العينات الخمسة التى يمكن اختيارها تكون أرقام وحداتها كما فى الجدول (١٥ - ٨) الآتى :

الجدول (١٥ - ٨)

| (١) | (٢) | (٣) | (٤) | (٥) |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ |
| ٦ | ٧ | ٨ | ٩ | ١٠ |
| ١١ | ١٢ | ١٣ | ١٤ | ١٥ |
| ١٦ | ١٧ | ١٨ | ١٩ | ٢٠ |
| ٢١ | ٢٢ | ٢٣ | | |

حيث لاحظنا أن حجم ٥ من العينات الثلاث الأولى $h = 5$ بينما حجم كل من العينتين الأخيرتين $h = 23$. وهذا الحقيقتة نسب لإعاجاً فى تحليل بيانات معينة منظمة .

إذا كان $h = 0$ (حيث تتساوى أحجام العينات التى تؤخذ) يكون الوسط الحسابى العينة تقديراً غير متحيز للوسط الحسابى للمجتمع . أما إذا كان $h \neq 0$ فإن هذا التقدير يكون متحيزاً ، غير أنه يمكن إزاله هذا التحيز بإعطاء احتمالاً أكبر لاختيار بعض العينات . ففى الجدول (١٥ - ٨) إذا أعطينا الاحتمال $\frac{5}{23}$ لاختيار كل من العينات الثلاث الأولى والاحتمال $\frac{4}{23}$ لاختيار كل من العيتين الأخيرتين فإن الوسط الحسابى للعينة يكون حيث تقديراً غير متحيز لمتوسط المجتمع . (لاحظ أن $\frac{8+15}{23} = 2 \times \frac{4}{23} + 3 \times \frac{5}{23} = 0.1$)

أما تقدير تباين المجتمع أو تقدير الخطأ المعياري لتوزيع المعاينة للوسط الحسابي فلا توجد طريقة موثوق بها لإيجادها من بيانات مشاهدة في عينة وهذا هو العيب الرئيسي في المعاينة المنتظمة .

أما العيب الثاني فإن العينة المنتظمة تكون متحيزة ولا تعبر تعبيرا صادقا عن المجتمع إذا كان هناك نوع من الاختلافات الدورية أو الموسمية في وحدات المجتمع خاصة إذا حدث أن كانت الوحدات المختارة قريبة من مراكز هذه الاختلافات . ومن الواضح أن العينة العشوائية المنتظمة أسهل وأسرع في اختيارها من أى عينة أخرى وأقل تعرضا للخطأ إذ يكفي تحديد عدد عشوائى واحد . ولذلك فهي تستخدم حين تكون أقل تكلفة بكثير من أى طريقة أخرى للمعاينة ، أو حين يكون المطلوب تغطية المجتمع بشكل متعادل فهي في هذه الحالة تعطي نتائج أكثر دقة من العينة العشوائية التيسية .

هذا مع ملاحظة أنه في المعاينة المنتظمة يكون لكل وحدة من وحدات المجتمع نفس الفرصة في الدخول في العينة ، وهي في هذه الصفة تشبه المعاينة العشوائية البسيطة . غير أن احتمال الحصول على عينة منتظمة من حجم ما لا يكون مساويا لاحتمال الحصول على عينة منتظمة أخرى من نفس الحجم (اختبرت بتغيير العدد العشوائى الابتدائى) كما هو الحال في المعاينة العشوائية البسيطة . وهذا عرق كبير بين هذين النوعين من المعاينة . والواقع أن العينة المنتظمة ليست عشوائية إلا في اختيار العدد الابتدائى مما يعوق عملية التحليل الأحصائى .

Area Sampling

(١٥ - ٧) المعاينة المساحية

المعاينة المساحية هي تلك التى تختار فيها العينات من مسطح من الأرض ، وهي تستخدم في كثير من الدراسات السكانية وفي علوم الزراعة والجيولوجيا وغيرها .

وطريقة المعاينة المساحية ليس بها جديد من حيث المبدأ إذ تؤخذ العينات بنفس الطرق سابقة الذكر بحسب طبيعة الدراسة التي تجرى ، فقد تكون عشوائية بسيطة أو طبقية أو على مراحل أو منتظمة . ولا يحتاج الأمر إلا إلى إدخال تعديل في خطة المعاينة يمكننا من تحديد الوحدات التي تدخل في العينة .

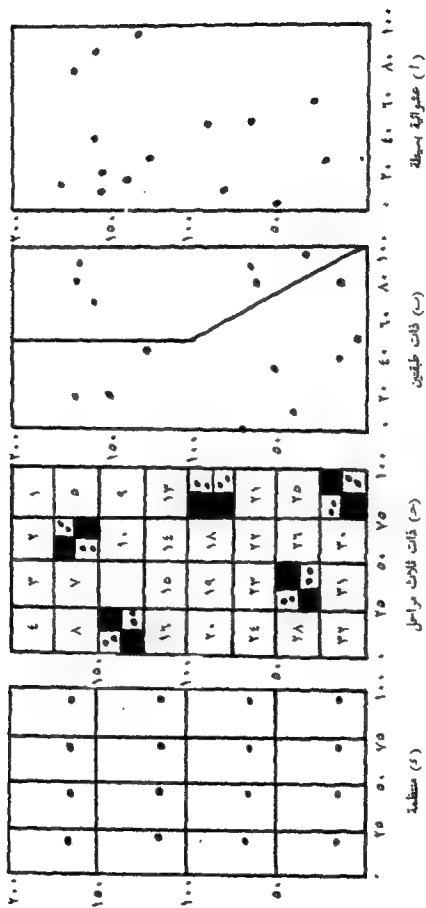
ومن الإجراءات المفيدة هنا رسم خريطة مصغرة للمسطح المعطى على مستوى يحدد بمحورين متعامدين أحدهما يعين مثلاً الشمال والجنوب والآخر يعين الشرق والغرب مع تحديد نقطة أصل مناسبة . وعند المعاينة تختار النقط (أو القطع أو المربعات) التي تدخل في العينة عن طريق الاختيار العشوائى لأزواج من الأعداد تتخذ كإحداثيات للنقط التي تحدد على الخريطة ومن ثم على المسطح الأصلى . والمتعاد اختيار وحدات هذه الأزواج من الأعداد عن طريق جداول الأرقام العشوائية .

مثال (١٥ - ٩) :

لدينا منطقة من الأرض مستطيلة الشكل عرضها ١٠٠ متراً وطولها ٢٠٠ متراً ونريد دراسة بعض الخواص الكيميائية لتربة هذه الأرض عن طريق اختيار عينة منها ، في الحالات الأربع الآتية :

(أولاً) : اختيار عينة عشوائية بسيطة من ١٥ نقطة .

نستخدم جداول الأرقام العشوائية لاختيار ١٥ عدداً عشوائياً يقع بين ٠ ، ١٠٠ مثلاً ٧٤ ، ١٠ ، ١١ ، ٤٤ ، ١٦ ، ... ثم لاختيار ١٥ عدداً عشوائياً يقع بين ٠ ، ٢٠٠ مثلاً ١٦٨ ، ١٥٠ ، ١٧٤ ، ٩١ ، ١٣٦ ، ... وبهذا يتحدد لنا ١٥ زوجاً من الأعداد هي (٧٤ ، ١٦٨) ، (١٠ ، ١٥٠) ، (١١ ، ١٧٤) ، (٤٤ ، ٩١) ، (١٦ ، ١٣٦) ، ... كل منها يحدد نقطة في المستوى ، فتكون النقطة الناتجة هي وحدات العينة المطلوبة . انظر الشكل (١٥ - ١) .



الشكل (١٥ - ١) : عينات عشوائية مساحية

(ثانياً) : اختيار عينة طبقية من ١٥ نقطة إذا كان من المعروف أن الأرض مقسمة إلى طبقتين مختلفتين النسبة بينهما ٢ : ٣ على وجه التقريب .

نسحب من الطبقتين عيتين عشوائيتين بسيطتين يتناسب حجمهما مع حجمي الطبقتين ، أى نسحب $15 \times \frac{2}{5} = 6$ وحدات من الطبقة الأولى ، $15 \times \frac{3}{5} = 9$ وحدات من الطبقة الثانية . وعلى ذلك نختار ٦ أزواج من الأعداد العشوائية بحيث تقع النقاط الممثلة لها في الطبقة الأولى ، ونختار ٩ أزواج من الأعداد العشوائية بحيث تقع النقاط الممثلة لها في الطبقة الثانية فنحصل مثلاً على النقاط الآتية :

للطبقة الأولى : (١٦٣ ، ٩١) ، (٣٥ ، ٩٥) ، (٦١ ، ٨١) ، (٨٠ ، ١٦٣) ، (٩٠ ، ٦٧) ، (٧٠ ، ١٥٥) .

للطبقة الثانية : (١٩ ، ١٦٦) ، (٤١ ، ١٦) ، (٠ ، ٦٩) ، (٣٢ ، ٥٣) ، (١٩ ، ١٤٧) ، (٥٢ ، ٥) ، (١١ ، ٤٠) ، (٤٥ ، ١٢٧) ، (٨٠ ، ١٥) .

انظر الشكل (١٥ - ١ - ب) .

(ثالثاً) : اختيار عينة عشوائية من ٢٠ نقطة تؤخذ على ثلاث مراحل .

نقسم الأرض إلى عدد من المربعات المتساوية المساحة . فمثلاً إذا أخذنا المربع ٢٥ فإن الأرض تنقسم إلى $8 \times 4 = 32$ مربعا . نرقم هذه المربعات من ١ إلى ٣٢ . نبدأ بأخذ عينة عشوائية من ٥ مربعات ، مثلاً المربعات ذات الأرقام ١٧ ، ٢٧ ، ٦ ، ٢٩ ، ١٢ وهذه هي المرحلة الأولى (الوحدات الابتدائية) .

نقسم كلا من هذه المربعات الخمسة إلى ٤ أجزاء متساوية المساحة ونأخذ من كل مربع جزعين عشوائياً ، وهذه هي المرحلة الثانية وتحتوى على $5 \times 2 = 10$ أجزاء كل منها ربع مربع . وأخيراً نختار من كل ربع مربع نقطتين عشوائياً فنحصل على ٢٠ نقطة هي التي تمثل العينة المطلوبة - انظر الشكل (١٥ - ١ - ج) .

(رابعاً) : اختيار عينة منتظمة من ١٦ نقطة .

نقسم كلا من الطول والعرض إلى ٤ أقسام متساوية الطول فنحصل على ١٦ قسماً كل منها مستطيل عرضه ٢٥ متراً وطوله ٥٠ متراً . نحدد عددا عشوائياً بين ٠ ، ٢٥ وليكن ٢٢ ونحدد عددا عشوائياً بين ٠ ، ٥٠ وليكن ١٨ فيكون إحداثيا النقطة الابتدائية (٢٢ ، ١٨) . نحدد النقط الأخرى بانتظام بحيث تبعد كل نقطة عن سابقتها بمسافة قدرها ٢٥ على المحور الأفقى ، ٥٠ على المحور الرأسى . انظر الشكل (١٥ - ١ - ٤) .

(١٥ - ٨) العينات غير الاحتمالية :

نعلم أن العينة غير الاحتمالية هي تلك التى نأخذها من المجتمع دون أن نعرف احتمالات دخول وحدات المجتمع فيها ومن ثم لا نستطيع إخضاعها لقواعد الاحتمالات ولا أن نطبق عليها الاختبارات الإحصائية سالفة الذكر . ومع ذلك لا يجوز التقليل من أهمية هذه العينات فكثير منها له استخدامات هامة ويمكن أن تعطى مؤشرات مفيدة عن المجتمعات التى تؤخذ منها .

ومن هذه العينات ما يسمى بالعينة الغرضية Purposeful sample وهى تلك العينة غير العشوائية التى لا تختار بهدف التحليل الإحصائى المعتاد بل لأداء مهمة أو غرض محدد كما هو الحال فى البحوث الاستطلاعية لتقدير تكاليف البحث أو تلمس المشكلات المتوقعة أو لتدريب المساعدين على عملية جمع البيانات . وهنا يختار الباحث الجزء من المجتمع القريب من متناول يده دون تحمل مشقة المعاينة العشوائية .

وهناك ما يسمى بالعينة بالخصص Quota sample وهذا النوع تستخدمه كثير من المؤسسات الصحفية ومعاهد استطلاع الرأى ، ومن أشهرها معهد جالوب Gallup بالولايات المتحدة الأمريكية الذى يستشف نتائج الانتخابات العامة قبل

لإجرائها بسرعة وتكاليف قليلة ، فيطلب من عدد من العاملين استطلاع رأى عدد معين من الناس (حصة) فى أحد الأحياء أو المناطق فيقوم كل عامل بسؤال من يصادفه من الناس فى المكان المحدد له حتى يتم الحصة المنوطة به .

كما أن هناك عينات اضطرابية كما هو الحال فى عينة تتألف من متطوعين فى الدراسات التى تكون فيها القياسات أو التجارب متعبة أو غير مستحبة أو تحمل الضرر للأفراد الذين تجرى عليهم الدراسة .

وهناك مايسمى بعينة التفتيش Search sample وهى تلك التى تهدف إلى التفتيش عن معلومات جديدة كتصيد أنواع جديدة من الحشرات أو القواقع أو الصخور المعدنية ، أو الكشف عن رواسب جيرية تصلح لصناعة الأسمت ، أو التنقيب عن الآبار والمياه الجوفية مما يفتح آفاقا جديدة للدراسة النظرية والتطبيقات العملية .

ملحق (١) أجوبة التمارين

تمارين (١) :

$$(٢) \quad ٦٥,٠ \quad ٠,٠٦٤ \quad ١٤٤,٠ \quad ٣,٠ \quad ٣,٤٥ \quad ٢٥,٠$$

$$(٣) \quad ٤٩,٤٨ \quad ٤٩,٥$$

$$(٤) \quad \frac{1}{3} \quad \frac{2}{10} \quad \frac{3}{10}$$

$$(٥) \quad \frac{19}{20}$$

تمارين (٢ - ١) :

$$(١) \quad ١٠,٩ \quad ١٣,١٥٧ \quad ١٢,٠٧$$

$$(٢) \quad ٤٨,٨٩ \quad ١٠,٣٢ \quad ٢١,١١$$

$$(٣) \quad ٣,٠٢٥ \quad ١,٧٦٥$$

$$(٤) \quad ٤ \text{ م م } \times ١٠^{-1} , ٠,٣٤٦ \text{ م م } \times ١٠^{-1} , ٦٢,٦ \% , ٤$$

$$(٦) \quad ٢,٢٧٥ = ١ , ٢ = ٢,٥ , ٣ = ٢,٩٨$$

تمارين (٢ - ٢) :

(١) التوزيع ملتوى إلى اليمين .

(٢) في توزيع غير المدخنين يتجمع عدد كبير في وسط التوزيع (بين ٢١،١٩)

ويتناقص هذا العدد تدريجيا عند الطرفين ، وبالعكس في توزيع المدخنين .

(٣) نعم الفيران تتعلم من التدريب — في الفيران المدربة يتجمع عدد كبير من

الفروق حول القيمة ٤ وهى في وسط التوزيع ويتناقص العدد تدريجيا في الطرفين ،

وبالعكس في الفيران غير المدربة .

تقارین (۳ - ۱) :

$$\begin{aligned} & ۰,۹۹۹۹ \quad ۱۴-۱۰ \times ۹,۷۷ (۱) \\ & ع^۲ = ۱,۵ \text{ ليتوفر شرط الإستقلال} \quad ۰,۳۱۱۵, \quad ۰,۶۷۲ (۲) \\ & (۳) \end{aligned}$$

(۴) وفق توزيع ذى الحدين دليله ۳ ، ۰,۰۲ ، ثم قارن التكرارات المتوقعة بالتكرارات المشاهدة .

تقارین (۳ - ۲) :

$$\begin{aligned} & ۰,۰۳۶۵ \quad ۰,۱۲۶۲ \quad ۰,۳۵۰۵ \quad ۰,۴۸۶۸ (۱) \\ & ۰,۰۰۴۷ \quad ۰,۹۰۴۸ (۲) \\ & ۰,۵۷۶۷ (۳) \\ & ۰,۹۷۰۹ = ع^۲ , ۰,۴۳۶۳ = س (۴) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & ۰,۰ \quad ۰,۰ \quad ۰,۰ \quad ۰,۱ \quad ۰,۶ \quad ۵,۳۰ \quad ۳۶,۲ \quad ۱۶۶,۱ \quad ۳۸۰,۷ \\ & ۰,۲۶۹ = ع^۲ , ۰,۴۶۴۳ = س (۵) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & ۰,۱ \quad ۱,۲ \quad ۷,۶ \quad ۳۲,۷ \quad ۷۰,۴ \text{ التكرارات المتوقعة} \\ & ۰,۲۶۴۲ \quad ۰,۳۶۷۹ (۶) \end{aligned}$$

تقارین (۴) :

$$\begin{aligned} & ۰,۸۷۴۲ \quad ۰,۲۲۹۶ \quad ۰,۰۴۹۵ \quad ۰,۴۳۳۲ \quad - أ - (۱) \\ & ۰,۰۰۸۰ \quad ۰,۱۵۵۴ \quad - ب - \\ & ۰,۶۸۲۶ \quad ۰,۹۸۲۰ (۲) \\ & ۰,۰۴۳۶ \quad ۰,۹۹۹۹ (۳) \end{aligned}$$

تقارین (۵) :

$$\begin{aligned} & ۱,۹۶۰ \quad ۲,۹۲۱ \quad ۲,۴۲۳ \quad ۲,۱۷۹ \quad - أ - (۱) \\ & ۳,۸۴۱ \quad ۴۷,۲۱۲ \quad ۵۷,۳۴ \quad ۳۱,۴۱۰ \quad - ب - \\ & ۵,۷۵ \quad ۴,۱۷ \quad ۴,۱۵ \quad ۳,۵۸ \quad - ج - \end{aligned}$$

| | | |
|-------|------|-----------|
| ٠,٠٢٥ | ٠,٠٥ | (٢) - أ - |
| ٠,٥ | ٠,٠١ | - ب - |
| ٠,٠٢٥ | ٠,٠١ | - ج - |

تمارين (٦ - ١) :

(١) ت $\times ٠,٠٥٥$ نرفض الفرض الصفري في الحالتين - (٠,٩١٦٦ ، ٠,٦٨٥٤) -

(٢) ت = ٥,٦٩٣ نرفض الفرض الصفري - (٨٨,٠٧٢ ، ٨٢,٥٣)

(٣) (١٠,٨١ ، ٧,٩٩)

(٤) ع = ٠,٦٩٢٨ خ . م = ٠,٤٣٧٩ ت = ٢٧٤ الفرق ليس ذا دلالة

(٥) ع = ١٧٢,٣٥٧ خ . م = ٧,٠٥٨ ت = ١,٠١٢ الفرق ليس ذا

دلالة

(٦) نرفض الفرض الصفري في الحالتين - (٤٥,٧٨ ، ٤٢,٨٩) -

(٤٦,٢٥ ، ٤٢,٤١)

تمارين (٦ - ٢) :

(١) لا يوجد دليل للشك في نظرية مندل $\chi^2 = ٠,١٣٧$ ، $\chi^2 = ٠,٤٥٠$

(٢) $\chi^2 = ١٠,٥٢٦$ الفرق بين المصايد ذو دلالة عند المستوى ٠,٠٥

(٣) $\chi^2 = ١,٩٤$ عدد المواليد غير ثابت خلال شهور السنة (لا يعتمد

الاختبار لأن هناك نمط) .

(٤) $\chi^2 = ٤,٣٢$ نقبل الفرض الصفري عند ٠,٠١ ونرفضه عند ٠,٠٥

المجتمع ربما يفضل النوع أ

(٥) $\chi^2 = ٥,٢٢٤$ نقبل الفرض الصفري أن الزهر غير متحيز عند المستوى

٠,٠٥

(٧) $\chi^2 = ٢٣,٦٨٣$ حيوية الجيوب غير مستقلة عن المعالجة الحرارية .

(٨) $\chi^2 = ٢,٣٨$ اللحاء ليس له تأثير بناء على هذه التجربة .

$$(9) (111,74 , 4,85)$$

$$(10) (1700,85 , 683,91)$$

$$(11) 9,87 = \chi^2_{\text{ج}}$$

تقارین (3 - 6) :

$$(1) (0,770 , 0,316) (2) (0,233 , 0,087) (3) (0,386 , 0,294)$$

$$(4) \text{ ص }_{\text{ج}} = - 6,284 \text{ نرفض فب } (5) \text{ ص }_{\text{ج}} = 2,948 \text{ نرفض ف}$$

تقارین (4 - 6) :

$$(1) 68 = \text{ن} (2) (33,05 , 30,95) (3) 96 = \text{ن} (4) 545 = \text{ن}$$

تقارین (5 - 6) :

حدا المراقبة 7,3

تقارین (7) :

$$(1) 48,92 = \text{ا} , 42,08 = \text{ا} , 0,998 = \text{ق}$$

$$(2) \text{أولا : } 25,558 = \text{ا} , 0,94 = \text{ق}$$

$$\text{ثانيا : } 25,862 = \text{ا} , 22,138 = \text{ا} , 0,88 = \text{ق}$$

$$(3) 0,13 = \text{ق} \text{ تقريبا .}$$

تقارین (8 - 9)

| مصدر التباين | د.ح. | تقدير التباين | ف |
|-----------------|------|---------------|--------|
| (1) بين الأقسام | 2 | 33,085 | 1 > |
| داخل الأقسام | 9 | 56,53 | |
| الكل | 11 | | |
| | | | |
| (2) بين الأقسام | 3 | 1807,73 | 2,26 |
| | | | 102,57 |

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

| | | | |
|-----------------|---------|----|--------|
| داخل الأقسام | ٣٧٧٨ | ٣٣ | ١١٤,٤٨ |
| الكلى | ٥٥٨٥,٧٣ | ٣٦ | |
| (٣) بين الأقسام | ٠,٥٠٥ | ٢ | ٠,٢٥٢٥ |
| داخل الأقسام | ٤,٧٠٠ | ٩ | ٠,٥٢٢٢ |
| الكلى | ٥,٢٠٥ | ١١ | |

(٤) ف = ٥,٩٣ هناك دليل على وجود فروق بين المعالجات .

(٥) ف = ٣,٨٩٩ نرفض ف٠ ، ، تختلف أنواع الخرسانة في متوسط امتصاصها للرطوبة .

(٦) (أولا) ف = ٢٣,٢٧٥ نرفض القول بتساوى أطوال الدورات الثلاث .

(ثانيا) ف = ٣,٦٧٦ نقبل الفرض الصفري عند ٠,٠٥ ، ونرفضه عند

٠,٠١

(٧) ع = ٠,٠٣٩٣ (أ) هناك اختلاف جوهري بين مجموعتى العلاج ومجموعة المراقبة .

(ب) ليس هناك خلاف جوهري بين نوعى العلاج .

تمارين (٨ - ٢)

(١) أولا : ٣,٦٧ ، ٤,٢٢ كل من العاملين ذو دلالة عالية .

ثانيا : ٤,٢٦ نرفض عند ٠,٠٥ .

(٢) للغذاء ف = ٦,٦٢ متوسطات الكلسترول ليست متساوية في أنواع الغذاء .

للمعامل ف = ٤,٨٦ متوسطات المعامل ليست متساوية .

(٣) عامل الأيام ف = ٢,٣٠ ليست ذات دلالة .

عامل العمق ف = ٢٨٥١,١ ذو دلالة عالية . درجة الحرارة تنخفض بزيادة

العمق .

تمارين (٨ - ٣)

| | | | | |
|--------|--------|----|---------|------------------------|
| ١ > | ٢,٧٢٧ | ١ | ٢,٧٢٧ | بين الأعمدة (السلالات) |
| ٤,٦٩٩٩ | ٤٩,٣٨١ | ٢ | ٩٨,٧٦١ | بين الصفوف (الملوحة) |
| ١,١٥٢٣ | ١٢,١٠٨ | ٢ | ٢٤,٢١٥ | تفاعل |
| | ١٠,٥٠٧ | ١٨ | ١٨٩,١٢٤ | خطأ |
| | | ٢٣ | ٣١٤,٨٢٧ | كلى |

تمارين (٨ - ٤)

| | | | | |
|-------|--------|----|---------|---------------------------|
| ٨,٥٢٩ | ٥٨٩,٦٣ | ١ | ٥٨٩,٦٣ | (١) بين القسمين (الأعمدة) |
| ,٤٦٤ | ٣٢,٠٦ | ١٤ | ٤٤٨,٨٧ | بين الأفراد (الصفوف) |
| | ٦٩,١٣ | ١٤ | ٩٦٧,٨٧ | الخطأ |
| | | ٢٩ | ٢٠٠٦,٣٧ | الكلى |

(٢) ميزان الطبيب يعطى قراءات أعلى - (٠,٠٤٢٨ ، ٠,٧٥٧٢) .

تمارين (٨ - ٥)

| | | | | |
|-----|-------|----|--------|----------------|
| ٠,٩ | ٥,٧٥ | ٣ | ١٧,٢٥ | (١) بين الصفوف |
| ٥,٩ | ٣٨,٢٥ | ٣ | ١١٤,٧٥ | بين الأعمدة |
| ٩,٠ | ٥٨,٢٥ | ٣ | ١٧٤,٧٥ | بين المعالجات |
| | | ٦ | ٣٩,٠٠ | الخطأ |
| | | ١٥ | ٣٤٥,٧٥ | الكلى |

تمارين (٨ - ٦)

(١) ثانيا :

| مصدر التباين | ٢ ٢ | د ح | ط ٢ | ف |
|--------------|------|-----|------|----------------------|
| بين الأقسام | ٣٣١٢ | ٤ | ٨٢٨ | ^{**} ٢٠,٧ |
| ↗ | ٤٠٥ | ١ | ٤٠٥ | ^{**} ١٠,١٢٥ |
| ↗ | ٢٨٨٠ | ١ | ٢٨٨٠ | ^{**} ٧٢ |
| ↗ | ٢٢,٥ | ١ | ٢٢,٥ | ١> |
| ↗ | ٤,٥ | ١ | ٤,٥ | ١> |
| الخطأ | ١٨٠٠ | ٤٥ | ٤٠ | |
| الكل | ٥١١٢ | ٤٩ | | |

ثالثا : لأى مقارنة $\chi^2 = ٨$ - القيمة الحرجة ١١,٠٧١

(٢) - أولا

| مصدر التباين | ٢ ٢ | د ح | تقدير التباين | ف |
|--------------|----------|-----|---------------|--------|
| بين الأعمدة | ٣١١٤١,١٩ | ٣ | ١٠٣٨٠,٣٩٦ | ٣٣,٢٦٤ |
| بين الصفوف | ٤٦٠,٠٦ | ٢ | ٢٣٠,٠٣ | ١> |
| تفاعل | ٣٤٩٩,٧٢ | ٦ | ٥٨٣,٢٨٧ | ١,٨٦٩ |
| الخطأ | ٧٤٨٩,٣٤ | ٢٤ | ٣١٢,٠٥٦ | |
| الكل | ٤٢٥٩٠,٣١ | ٣٥ | | |

ثانيا : متوسطات الأعمدة ٩٤,٣٣٣ ، ٩٧,٦٦٧ ، ١٤٥,٨٨٩ ، ١٦١,٥٥٦
 ثالثا : للمقارنات البعدية للأعمدة ، القيمة الحرجة ٣١,٣٣٦

تمارين (٩ - ١)

$$(١) \hat{ص} = ١٢,٠٧ - س ، ٧,٩٩ ، ع = ٢,٣٥٨ ، ت = ٢,٧٨٥ ، (٣٤,٢٣ ، ٢٢,١٢)$$

$$(٢) \hat{ص} = ١,٩٣ + س ، ١٨٤,٦٦ ، ع = ٥٩,٧٤١ ، ت = ٠,١٠٢ .$$

هناك علاقة خطية .

$$(٤) \hat{ص} = ٥,٢٨ + ٠,٠٠١٩ س ، ع = ٠,٩٩٥ ، ت = ٠,٩٤٥ .$$

لا توجد علاقة خطية .

$$(٦) ت = ٠,١٤٧ لا توجد علاقة خطية .$$

تمارين (٩ - ٢)

$$(١) \hat{ص} = ٢٧,٨٦ - ٠,٥٩٩٩٦ س ، ف = ٢٥٧,٤٤ الانحراف عن الخطية ذو دلالة .$$

$$ف = ٩٥,٨٣ نرفض $\beta = ٠$. هناك علاقة خطية ولكنها ليست أحسن العلاقات .$$

(٢) العلاقة الخطية تعبر تعبيرا جيدا عن العلاقة الحقيقية بين المتغيرين .

$$(٤) ف = ٨,٧٥ ص ليست مستقلة عن س .$$

$$ف = ٩,١٥ يوجد انحراف عن الخطية .$$

$$ف = ١٠,٠٠ هناك انحدار خطي ولكنه ليس أفضل العلاقات .$$

تمارين (١٠)

$$(١) س = ٠,٤١٨ ، ت = ١,٤٥٥ لا توجد علاقة خطية .$$

- (٢) $r = 0,8983$ ، $t = 11,1177$ توجد علاقة خطية .
 (٤) $r = 0,128$ ، $t = 365$ ، لا توجد علاقة خطية .
 (٥) $r = -0,9787$ ، $t = 12,6$ توجد علاقة خطية سالبة .
 (٦) $r = 0,794$ ، القيمة الحرجة عند $n = 10$ والمستوى $0,01$ هي $0,745$. هناك ارتباط موجب
 (٧) $r = 0,98$ ، هناك ارتباط موجب .
 (٨) معاملا الارتباط متساويان في المجتمع .

تمارين (١١ - ١)

ف = $36,03$ يوجد انحدار خطي ، ف = $2,14$ المتوسطات متساوية في المجتمع .

| المصدر | ب | ح ^٢ / ا | ب - ح ^٢ / ا | د ح | ط م | ف |
|--------------|----------|--------------------|------------------------|------|-------|------|
| بين الأقسام | — | — | 68,697 | ٢ | 34,35 | 2,14 |
| داخل الأقسام | 995,1 | 578 | 417,100 | - 26 | 16,04 | |
| الكل | 1288,700 | 802,903 | 485,797 | 28 | | |

تمارين (١١ - ٢)

ف = $24,4$ يوجد تأثير خطي ، ف = $4,79$ المتوسطات ليست متساوية .
 ب = $-0,34$ المتوسطات المعدلة $23,77$ ، $27,52$ ، $25,19$ ، $24,87$.

تمارين (١٢ - ١)

$$\hat{\mu} = 9,7856 + 0,0017 \cdot s + 0,2174 \cdot \sigma$$

$$f = 0,8319 = \beta = \beta = 0$$

$$t = 2,10 = \beta = 0, \quad t = 2,87 = \beta = 0$$

تمارين (١٢ - ٢)

$$(1) \quad f = 4,4996 = \text{نرفض } H_0$$

$$(2) \quad s_{2-31} = 0,445 = 0, \quad t = 2,98 = \text{نرفض } H_{2-31}$$

تمارين (١٤ - ١)

$$(1) \quad s = 10, \quad \mu = 16, \quad \sigma = 2,603 = 2, \quad \sigma = 2,113 = 2$$

هناك نمط دورى

$$(2) \quad \text{الوسيط} = 30,5, \quad s = 13, \quad \mu = 13, \quad \sigma = 2,396 = 2$$

ص = $\pm 0,209$. لا يوجد دليل ضد الفرض أن العينة عشوائية .

$$(3) \quad \text{الوسيط} = 35, \quad s = 10, \quad \mu = 11, \quad \sigma = 2,176 = 2$$

ص = $-0,23$. لا يوجد دليل ضد الفرض أن العينة عشوائية .

تمارين (١٤ - ٢)

$$(1) \quad n = 15, \quad s = 4, \quad t = 4 \geq 4 = 0,056$$

نقبل أن المتوسط يساوى 0 .

$$(2) \quad n = 26, \quad s = 6, \quad \text{ص} = -22,55$$

نرفض الفرض الصفري . العالم الأول أفضل .

تمارين (١٤ - ٣)

$$n = 5, \quad s = 1 \text{ الامتناع عن التدخين يزيد الوزن .}$$

تمارين (١٤ - ٤)

- (١) ن = ٧ ، ع = ٣
الأوكسجين ينقص مع العمق
(٢) ن = ١٠ ، ع = ٧
وزن القلب يزداد بازدياد ضغط الدم .

تمارين (١٤ - ٥)

- (١) ص = ٥,٥٨ نرفض ف . عند $\alpha = ٠,١٠$ ويبدو أن مستوى التلوث أكبر
في النهر الثاني .
(٢) ص = ٩,٢٠ نرفض ف . عند $\alpha = ٠,١٠$ اللون له تأثير .

ملحق (٢)
جداول احصائية

الجدول (١)
٢٥٠٠ عن الأرقام العشوائية

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 1 | 48461 | 14952 | 72619 | 73689 | 52059 | 37086 | 60050 | 86192 | 67049 | 64739 | |
| 2 | 76534 | 38149 | 49692 | 31366 | 52093 | 15422 | 20498 | 33901 | 10319 | 43397 | |
| 3 | 70437 | 25861 | 38504 | 14752 | 23757 | 59660 | 67844 | 78815 | 23758 | 86814 | |
| 4 | 59584 | 03370 | 42806 | 11393 | 71722 | 93804 | 09095 | 07856 | 55589 | 46020 | |
| 5 | 04285 | 58554 | 16085 | 51555 | 27501 | 73883 | 33427 | 33343 | 45507 | 50063 | |
| 6 | 77340 | 10412 | 69189 | 85171 | 29082 | 44785 | 83638 | 02583 | 96483 | 76553 | |
| 7 | 59183 | 62687 | 91778 | 80354 | 23512 | 97219 | 65921 | 02035 | 59847 | 91403 | |
| 8 | 91800 | 04281 | 39979 | 03927 | 82564 | 28777 | 59049 | 97532 | 54540 | 79472 | |
| 9 | 12066 | 24817 | 81099 | 48940 | 69554 | 55925 | 48379 | 12866 | 51232 | 21580 | |
| 10 | 69907 | 91751 | 33512 | 23748 | 65906 | 91385 | 84983 | 27915 | 48491 | 91068 | 1 |
| 11 | 80467 | 04873 | 54053 | 25955 | 48518 | 13815 | 37707 | 68687 | 15570 | 08890 | 1 |
| 12 | 78057 | 67835 | 28302 | 45048 | 56761 | 97725 | 58438 | 91528 | 24645 | 18544 | 1 |
| 13 | 05648 | 99387 | 78191 | 88415 | 60269 | 94880 | 58812 | 42931 | 71898 | 61534 | 1 |
| 14 | 22304 | 39246 | 01350 | 99451 | 61862 | 78688 | 30339 | 60222 | 74052 | 25740 | 1 |
| 15 | 61346 | 50269 | 67005 | 40442 | 33100 | 16742 | 61640 | 21046 | 31909 | 72641 | 1 |
| 16 | 66793 | 37696 | 27965 | 30459 | 91011 | 51426 | 31006 | 77468 | 61029 | 57108 | 1 |
| 17 | 86411 | 48809 | 36698 | 42453 | 83061 | 43769 | 39948 | 87031 | 30767 | 13953 | 1 |
| 18 | 62098 | 12825 | 81744 | 28882 | 27369 | 88183 | 65846 | 92545 | 09065 | 22655 | 1 |
| 19 | 68775 | 06261 | 54265 | 16203 | 23340 | 84750 | 16317 | 88686 | 86842 | 00879 | 1 |
| 20 | 52679 | 19595 | 13687 | 74872 | 89181 | 01939 | 18447 | 10787 | 76246 | 80072 | 2 |
| 21 | 84096 | 87152 | 20719 | 25215 | 04349 | 54434 | 72344 | 93008 | 83282 | 31670 | 2 |
| 22 | 63964 | 55937 | 21417 | 49944 | 38356 | 98404 | 14850 | 17994 | 17161 | 98981 | 2 |
| 23 | 31191 | 75131 | 72386 | 11689 | 95727 | 05414 | 88727 | 45583 | 22568 | 77700 | 2 |
| 24 | 30545 | 68523 | 29850 | 67833 | 05622 | 89975 | 79042 | 27142 | 99257 | 32349 | 2 |
| 25 | 52573 | 91001 | 52315 | 26430 | 54175 | 30122 | 31796 | 98842 | 37600 | 26025 | 2 |
| 26 | 16586 | 81842 | 01076 | 99414 | 31574 | 94719 | 34656 | 80018 | 86988 | 79234 | 2 |
| 27 | 81841 | 88481 | 61191 | 25013 | 30272 | 23388 | 22463 | 65774 | 10029 | 58376 | 2 |
| 28 | 43563 | 66829 | 72838 | 08074 | 57080 | 15446 | 11034 | 98143 | 74989 | 26885 | 2 |
| 29 | 19945 | 84193 | 57581 | 77252 | 85604 | 45412 | 43556 | 27518 | 90572 | 00563 | 2 |
| 30 | 79374 | 23796 | 16919 | 99691 | 80276 | 32818 | 62953 | 78831 | 54395 | 30705 | 2 |
| 31 | 48503 | 26615 | 43980 | 09810 | 38289 | 66679 | 73799 | 48418 | 12647 | 40044 | 3 |
| 32 | 32049 | 65541 | 37937 | 41105 | 70106 | 89706 | 40829 | 40789 | 59547 | 00783 | 3 |
| 33 | 18547 | 71562 | 95493 | 34112 | 76895 | 46766 | 96395 | 31718 | 48302 | 45893 | 3 |
| 34 | 03180 | 96742 | 61486 | 43305 | 34183 | 99605 | 67803 | 13471 | 09243 | 29557 | 3 |
| 35 | 94822 | 24738 | 67749 | 83748 | 59799 | 25210 | 31093 | 62925 | 72061 | 69991 | 3 |
| 36 | 34330 | 60599 | 85828 | 19152 | 68499 | 27977 | 35611 | 96240 | 62747 | 89529 | 3 |
| 37 | 43770 | 81437 | 59527 | 95674 | 76692 | 86420 | 69930 | 10020 | 72881 | 12532 | 3 |
| 38 | 56908 | 77192 | 50623 | 41215 | 14311 | 42834 | 80651 | 93750 | 59957 | 31211 | 3 |
| 39 | 32787 | 07189 | 80539 | 75927 | 75475 | 73965 | 11796 | 72140 | 48944 | 74156 | 3 |
| 40 | 52441 | 78392 | 11733 | 57703 | 29133 | 71164 | 55355 | 31006 | 25526 | 55790 | 4 |
| 41 | 22377 | 54723 | 18227 | 28449 | 04570 | 18882 | 00023 | 67101 | 06895 | 08915 | 4 |
| 42 | 18376 | 73460 | 88841 | 39602 | 34049 | 20589 | 05701 | 08249 | 74213 | 25220 | 4 |
| 43 | 53201 | 28610 | 87957 | 21497 | 64729 | 64983 | 71551 | 99016 | 87903 | 63875 | 4 |
| 44 | 34919 | 78901 | 59710 | 27396 | 07593 | 05665 | 11964 | 44134 | 00273 | 76358 | 4 |
| 45 | 33617 | 92159 | 21971 | 16901 | 57383 | 34262 | 41744 | 60891 | 57624 | 06962 | 4 |
| 46 | 70010 | 40964 | 98780 | 72418 | 52571 | 18415 | 64362 | 90636 | 38034 | 04909 | 4 |
| 47 | 19282 | 68447 | 35665 | 31530 | 59832 | 49181 | 21914 | 65742 | 89815 | 39231 | 4 |
| 48 | 91429 | 73328 | 13266 | 54898 | 68795 | 40948 | 86808 | 63887 | 89939 | 47998 | 4 |
| 49 | 97637 | 78393 | 33021 | 05867 | 86520 | 45363 | 43066 | 00988 | 64040 | 09803 | 4 |
| 50 | 95150 | 07625 | 05255 | 83254 | 93943 | 52325 | 93230 | 62668 | 79529 | 65964 | 4 |

الجدول (٢)
معاملات ذى الحدين : $^n C_r$

| k | $\binom{1}{k}$ | $\binom{2}{k}$ | $\binom{3}{k}$ | $\binom{4}{k}$ | $\binom{5}{k}$ | $\binom{6}{k}$ | $\binom{7}{k}$ | $\binom{8}{k}$ | $\binom{9}{k}$ | $\binom{10}{k}$ | $\binom{11}{k}$ | $\binom{12}{k}$ | $\binom{13}{k}$ |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2 | | | 1 | 3 | 6 | 10 | 15 | 21 | 28 | 36 | 45 | 55 | 66 |
| 3 | | | | 1 | 4 | 10 | 20 | 35 | 56 | 84 | 120 | 165 | 220 |
| 4 | | | | | 1 | 5 | 15 | 35 | 70 | 126 | 210 | 330 | 495 |
| 5 | | | | | | 1 | 6 | 21 | 56 | 126 | 252 | 462 | 792 |
| 6 | | | | | | | 1 | 7 | 28 | 84 | 210 | 462 | 924 |
| 7 | | | | | | | | 1 | 8 | 36 | 120 | 330 | 792 |
| 8 | | | | | | | | | 1 | 9 | 45 | 165 | 495 |
| 9 | | | | | | | | | | 1 | 10 | 55 | 220 |
| 10 | | | | | | | | | | | 1 | 11 | 66 |
| 11 | | | | | | | | | | | | 1 | 12 |
| 12 | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | |

| k | $\binom{14}{k}$ | $\binom{15}{k}$ | $\binom{16}{k}$ | $\binom{17}{k}$ | $\binom{18}{k}$ | $\binom{19}{k}$ | $\binom{20}{k}$ |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 2 | 91 | 105 | 120 | 136 | 153 | 171 | 190 |
| 3 | 364 | 455 | 560 | 680 | 816 | 969 | 1140 |
| 4 | 1001 | 1365 | 1820 | 2380 | 3060 | 3876 | 4845 |
| 5 | 2002 | 3003 | 4368 | 6188 | 8568 | 11628 | 15504 |
| 6 | 3003 | 5005 | 8008 | 12376 | 18564 | 27132 | 38760 |
| 7 | 3432 | 6435 | 11440 | 19448 | 31824 | 50388 | 77520 |
| 8 | 3003 | 6435 | 12870 | 24310 | 43758 | 75582 | 125970 |
| 9 | 2002 | 5005 | 11440 | 24310 | 48620 | 92378 | 167960 |
| 10 | 1001 | 3003 | 8008 | 19448 | 43758 | 92378 | 184756 |
| 11 | 364 | 1365 | 4368 | 12376 | 31824 | 75582 | 167960 |
| 12 | 91 | 455 | 1820 | 6188 | 18564 | 50388 | 125970 |
| 13 | 14 | 105 | 560 | 2380 | 8568 | 27132 | 77520 |
| 14 | 1 | 15 | 120 | 680 | 3060 | 11628 | 38760 |
| 15 | | 1 | 16 | 136 | 816 | 3876 | 15504 |
| 16 | | | 1 | 17 | 153 | 969 | 4845 |
| 17 | | | | 1 | 18 | 171 | 1140 |
| 18 | | | | | 1 | 19 | 190 |
| 19 | | | | | | 1 | 20 |
| 20 | | | | | | | 1 |

تابع الجدول (٣)
الاحتمالات في توزيع ذى الحدين : د (س)

| | | P | | | | | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | s | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.95 | |
| 9 | 0 | 0.630 | 0.387 | 0.134 | 0.040 | 0.010 | 0.002 | | | | | | |
| | 1 | 0.399 | 0.387 | 0.302 | 0.156 | 0.060 | 0.018 | 0.004 | | | | | |
| | 2 | 0.063 | 0.173 | 0.302 | 0.267 | 0.181 | 0.070 | 0.021 | 0.004 | | | | |
| | 3 | 0.008 | 0.045 | 0.176 | 0.267 | 0.261 | 0.164 | 0.074 | 0.021 | 0.003 | | | |
| | 4 | 0.001 | 0.007 | 0.066 | 0.173 | 0.251 | 0.246 | 0.187 | 0.074 | 0.017 | 0.001 | | |
| | 5 | | 0.001 | 0.017 | 0.074 | 0.167 | 0.246 | 0.251 | 0.172 | 0.066 | 0.007 | 0.001 | |
| | 6 | | | 0.003 | 0.021 | 0.074 | 0.164 | 0.251 | 0.267 | 0.176 | 0.045 | 0.008 | |
| | 7 | | | | 0.004 | 0.021 | 0.070 | 0.161 | 0.267 | 0.302 | 0.173 | 0.063 | |
| | 8 | | | | | 0.004 | 0.018 | 0.060 | 0.156 | 0.302 | 0.267 | 0.299 | |
| | 9 | | | | | | 0.002 | 0.010 | 0.040 | 0.134 | 0.267 | 0.630 | |
| 10 | 0 | 0.599 | 0.349 | 0.107 | 0.028 | 0.006 | 0.001 | | | | | | |
| | 1 | 0.315 | 0.387 | 0.266 | 0.121 | 0.040 | 0.010 | 0.002 | | | | | |
| | 2 | 0.078 | 0.194 | 0.302 | 0.233 | 0.121 | 0.044 | 0.011 | 0.001 | | | | |
| | 3 | 0.010 | 0.087 | 0.201 | 0.267 | 0.215 | 0.117 | 0.043 | 0.008 | 0.001 | | | |
| | 4 | 0.001 | 0.011 | 0.088 | 0.200 | 0.251 | 0.205 | 0.111 | 0.037 | 0.006 | | | |
| | 5 | | 0.001 | 0.026 | 0.103 | 0.201 | 0.246 | 0.201 | 0.103 | 0.026 | 0.001 | | |
| | 6 | | | 0.006 | 0.037 | 0.111 | 0.205 | 0.251 | 0.200 | 0.088 | 0.011 | 0.001 | |
| | 7 | | | 0.001 | 0.009 | 0.043 | 0.117 | 0.215 | 0.267 | 0.201 | 0.087 | 0.010 | |
| | 8 | | | | 0.001 | 0.011 | 0.044 | 0.121 | 0.233 | 0.202 | 0.194 | 0.078 | |
| | 9 | | | | | 0.002 | 0.010 | 0.040 | 0.121 | 0.266 | 0.267 | 0.315 | |
| 11 | 0 | 0.569 | 0.314 | 0.086 | 0.020 | 0.004 | | | | | | | |
| | 1 | 0.339 | 0.384 | 0.236 | 0.098 | 0.027 | 0.005 | 0.001 | | | | | |
| | 2 | 0.087 | 0.213 | 0.295 | 0.200 | 0.089 | 0.027 | 0.005 | 0.001 | | | | |
| | 3 | 0.014 | 0.071 | 0.231 | 0.237 | 0.177 | 0.081 | 0.023 | 0.004 | | | | |
| | 4 | 0.001 | 0.016 | 0.111 | 0.220 | 0.236 | 0.161 | 0.070 | 0.017 | 0.002 | | | |
| | 5 | | 0.002 | 0.039 | 0.123 | 0.231 | 0.226 | 0.147 | 0.057 | 0.010 | | | |
| | 6 | | | 0.010 | 0.067 | 0.147 | 0.236 | 0.231 | 0.132 | 0.039 | 0.002 | | |
| | 7 | | | 0.002 | 0.017 | 0.070 | 0.161 | 0.236 | 0.230 | 0.111 | 0.016 | 0.001 | |
| | 8 | | | | 0.004 | 0.020 | 0.081 | 0.177 | 0.237 | 0.221 | 0.071 | 0.014 | |
| | 9 | | | | 0.001 | 0.005 | 0.027 | 0.089 | 0.200 | 0.295 | 0.213 | 0.087 | |
| 12 | 0 | 0.540 | 0.282 | 0.069 | 0.014 | 0.002 | | | | | | | |
| | 1 | 0.341 | 0.377 | 0.206 | 0.071 | 0.017 | 0.003 | | | | | | |
| | 2 | 0.099 | 0.230 | 0.283 | 0.168 | 0.064 | 0.016 | 0.002 | | | | | |
| | 3 | 0.017 | 0.085 | 0.236 | 0.240 | 0.142 | 0.064 | 0.012 | 0.001 | | | | |
| | 4 | 0.002 | 0.021 | 0.123 | 0.231 | 0.213 | 0.121 | 0.042 | 0.006 | 0.001 | | | |
| | 5 | | 0.004 | 0.053 | 0.158 | 0.237 | 0.193 | 0.101 | 0.029 | 0.003 | | | |
| | 6 | | | 0.016 | 0.079 | 0.177 | 0.236 | 0.177 | 0.079 | 0.016 | | | |
| | 7 | | | 0.003 | 0.029 | 0.101 | 0.193 | 0.237 | 0.158 | 0.053 | 0.004 | | |
| | 8 | | | 0.001 | 0.006 | 0.042 | 0.121 | 0.213 | 0.231 | 0.133 | 0.021 | 0.002 | |
| | 9 | | | | 0.001 | 0.012 | 0.054 | 0.142 | 0.240 | 0.236 | 0.085 | 0.017 | |
| 13 | 0 | | | | | 0.002 | | | | | | | |
| | 1 | | | | | 0.003 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | 0.008 | 0.017 | 0.071 | 0.071 | 0.306 | 0.277 | 0.241 | |
| | 3 | | | | | | 0.002 | 0.014 | 0.069 | 0.282 | 0.262 | 0.240 | |
| | 4 | | | | | | | 0.002 | 0.017 | 0.071 | 0.262 | 0.241 | |
| | 5 | | | | | | | | 0.002 | 0.014 | 0.069 | 0.240 | |
| | 6 | | | | | | | | | 0.002 | 0.014 | 0.069 | |
| | 7 | | | | | | | | | | 0.002 | 0.014 | |
| | 8 | | | | | | | | | | | 0.002 | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | 0.002 |

(٣) الجدول

الاحتمالات في توزيع ذي الحدين : د (س)

| n | x | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.95 |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 0 | 0.902 | 0.810 | 0.640 | 0.490 | 0.380 | 0.290 | 0.180 | 0.090 | 0.040 | 0.010 | 0.002 |
| | 1 | 0.095 | 0.190 | 0.360 | 0.510 | 0.620 | 0.710 | 0.820 | 0.910 | 0.960 | 0.990 | 0.005 |
| | 2 | 0.002 | 0.010 | 0.040 | 0.090 | 0.180 | 0.290 | 0.380 | 0.490 | 0.640 | 0.810 | 0.902 |
| 3 | 0 | 0.857 | 0.729 | 0.512 | 0.343 | 0.216 | 0.125 | 0.064 | 0.027 | 0.008 | 0.001 | |
| | 1 | 0.135 | 0.242 | 0.384 | 0.441 | 0.432 | 0.375 | 0.288 | 0.180 | 0.084 | 0.027 | 0.007 |
| | 2 | 0.007 | 0.027 | 0.096 | 0.180 | 0.288 | 0.375 | 0.432 | 0.441 | 0.384 | 0.242 | 0.135 |
| | 3 | | 0.001 | 0.008 | 0.027 | 0.064 | 0.125 | 0.216 | 0.343 | 0.512 | 0.729 | 0.857 |
| 4 | 0 | 0.815 | 0.656 | 0.410 | 0.260 | 0.150 | 0.082 | 0.028 | 0.006 | 0.002 | | |
| | 1 | 0.171 | 0.292 | 0.410 | 0.412 | 0.346 | 0.250 | 0.164 | 0.076 | 0.026 | 0.004 | |
| | 2 | 0.014 | 0.049 | 0.164 | 0.365 | 0.346 | 0.250 | 0.164 | 0.076 | 0.026 | 0.004 | 0.014 |
| | 3 | | 0.004 | 0.026 | 0.076 | 0.164 | 0.250 | 0.346 | 0.412 | 0.410 | 0.392 | 0.171 |
| | 4 | | | 0.002 | 0.006 | 0.028 | 0.082 | 0.150 | 0.260 | 0.410 | 0.656 | 0.815 |
| 5 | 0 | 0.774 | 0.600 | 0.328 | 0.168 | 0.078 | 0.031 | 0.010 | 0.002 | | | |
| | 1 | 0.204 | 0.328 | 0.410 | 0.380 | 0.280 | 0.156 | 0.077 | 0.026 | 0.006 | | |
| | 2 | 0.021 | 0.073 | 0.205 | 0.380 | 0.346 | 0.250 | 0.132 | 0.061 | 0.008 | 0.001 | |
| | 3 | 0.001 | 0.008 | 0.061 | 0.132 | 0.280 | 0.312 | 0.346 | 0.300 | 0.205 | 0.073 | 0.021 |
| | 4 | | | 0.006 | 0.026 | 0.077 | 0.156 | 0.280 | 0.380 | 0.410 | 0.328 | 0.204 |
| | 5 | | | | 0.002 | 0.010 | 0.031 | 0.078 | 0.168 | 0.328 | 0.600 | 0.774 |
| 6 | 0 | 0.728 | 0.531 | 0.303 | 0.118 | 0.047 | 0.018 | 0.004 | 0.001 | | | |
| | 1 | 0.222 | 0.354 | 0.303 | 0.309 | 0.187 | 0.094 | 0.037 | 0.010 | 0.002 | | |
| | 2 | 0.031 | 0.098 | 0.246 | 0.324 | 0.311 | 0.224 | 0.138 | 0.080 | 0.018 | 0.001 | |
| | 3 | 0.002 | 0.018 | 0.062 | 0.183 | 0.276 | 0.312 | 0.270 | 0.185 | 0.082 | 0.018 | 0.002 |
| | 4 | | 0.001 | 0.018 | 0.060 | 0.188 | 0.284 | 0.311 | 0.224 | 0.138 | 0.080 | 0.031 |
| | 5 | | | 0.002 | 0.010 | 0.037 | 0.094 | 0.187 | 0.303 | 0.303 | 0.246 | 0.118 |
| | 6 | | | | 0.001 | 0.004 | 0.018 | 0.047 | 0.118 | 0.263 | 0.531 | 0.728 |
| 7 | 0 | 0.698 | 0.478 | 0.210 | 0.082 | 0.028 | 0.006 | 0.002 | | | | |
| | 1 | 0.267 | 0.373 | 0.367 | 0.247 | 0.131 | 0.055 | 0.017 | 0.004 | | | |
| | 2 | 0.041 | 0.124 | 0.275 | 0.318 | 0.261 | 0.164 | 0.077 | 0.025 | 0.004 | | |
| | 3 | 0.004 | 0.022 | 0.115 | 0.227 | 0.290 | 0.273 | 0.194 | 0.087 | 0.029 | 0.002 | |
| | 4 | | 0.002 | 0.029 | 0.087 | 0.194 | 0.273 | 0.290 | 0.227 | 0.115 | 0.022 | 0.004 |
| | 5 | | | 0.004 | 0.025 | 0.077 | 0.164 | 0.261 | 0.318 | 0.275 | 0.124 | 0.041 |
| | 6 | | | | 0.004 | 0.017 | 0.055 | 0.131 | 0.247 | 0.367 | 0.373 | 0.267 |
| | 7 | | | | | 0.002 | 0.006 | 0.028 | 0.082 | 0.210 | 0.478 | 0.698 |
| 8 | 0 | 0.663 | 0.430 | 0.168 | 0.058 | 0.017 | 0.004 | 0.001 | | | | |
| | 1 | 0.279 | 0.343 | 0.290 | 0.198 | 0.090 | 0.031 | 0.006 | 0.001 | | | |
| | 2 | 0.061 | 0.149 | 0.294 | 0.296 | 0.209 | 0.109 | 0.041 | 0.010 | 0.001 | | |
| | 3 | 0.006 | 0.033 | 0.147 | 0.254 | 0.279 | 0.219 | 0.154 | 0.047 | 0.009 | | |
| | 4 | | 0.006 | 0.046 | 0.136 | 0.232 | 0.273 | 0.232 | 0.136 | 0.046 | 0.006 | |
| | 5 | | | 0.009 | 0.047 | 0.124 | 0.219 | 0.279 | 0.284 | 0.147 | 0.033 | 0.006 |
| | 6 | | | 0.001 | 0.010 | 0.041 | 0.109 | 0.209 | 0.296 | 0.294 | 0.149 | 0.061 |
| | 7 | | | | 0.001 | 0.006 | 0.031 | 0.090 | 0.198 | 0.296 | 0.343 | 0.279 |
| | 8 | | | | | 0.001 | 0.004 | 0.017 | 0.058 | 0.168 | 0.430 | 0.663 |

All values omitted in this table are 0.0005 or less

تابع الجدول (٣)
الاحتمالات في توزيع ذي الحدين : د (س)

| n | x | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.95 |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 13 | 0 | 0.513 | 0.264 | 0.085 | 0.010 | 0.001 | | | | | | |
| | 1 | 0.381 | 0.387 | 0.179 | 0.064 | 0.011 | 0.002 | | | | | |
| | 2 | 0.111 | 0.245 | 0.368 | 0.139 | 0.045 | 0.010 | 0.001 | | | | |
| | 3 | 0.021 | 0.100 | 0.248 | 0.218 | 0.111 | 0.035 | 0.006 | 0.001 | | | |
| | 4 | 0.003 | 0.028 | 0.154 | 0.234 | 0.184 | 0.087 | 0.024 | 0.003 | | | |
| | 5 | | 0.006 | 0.069 | 0.180 | 0.221 | 0.157 | 0.066 | 0.014 | 0.001 | | |
| | 6 | | 0.001 | 0.023 | 0.103 | 0.197 | 0.209 | 0.131 | 0.044 | 0.006 | | |
| | 7 | | | 0.006 | 0.044 | 0.131 | 0.209 | 0.197 | 0.103 | 0.023 | 0.001 | |
| | 8 | | | | 0.001 | 0.014 | 0.066 | 0.157 | 0.221 | 0.180 | 0.069 | 0.003 |
| | 9 | | | | | 0.003 | 0.024 | 0.087 | 0.184 | 0.234 | 0.154 | 0.028 |
| | 10 | | | | 0.001 | 0.006 | 0.035 | 0.111 | 0.218 | 0.248 | 0.100 | 0.021 |
| | 11 | | | | | 0.001 | 0.010 | 0.045 | 0.139 | 0.268 | 0.245 | 0.111 |
| | 12 | | | | | | 0.002 | 0.011 | 0.054 | 0.179 | 0.267 | 0.251 |
| | 13 | | | | | | | 0.001 | 0.010 | 0.055 | 0.264 | 0.213 |
| 14 | 0 | 0.488 | 0.229 | 0.044 | 0.007 | 0.001 | | | | | | |
| | 1 | 0.359 | 0.358 | 0.154 | 0.041 | 0.007 | 0.001 | | | | | |
| | 2 | 0.123 | 0.267 | 0.250 | 0.112 | 0.032 | 0.006 | 0.001 | | | | |
| | 3 | 0.026 | 0.114 | 0.250 | 0.194 | 0.085 | 0.023 | 0.003 | | | | |
| | 4 | 0.004 | 0.036 | 0.172 | 0.229 | 0.155 | 0.061 | 0.014 | 0.001 | | | |
| | 5 | | 0.008 | 0.086 | 0.196 | 0.207 | 0.122 | 0.041 | 0.007 | | | |
| | 6 | | 0.001 | 0.032 | 0.126 | 0.207 | 0.183 | 0.092 | 0.033 | 0.002 | | |
| | 7 | | | 0.009 | 0.062 | 0.157 | 0.209 | 0.157 | 0.092 | 0.009 | | |
| | 8 | | | 0.002 | 0.023 | 0.092 | 0.183 | 0.207 | 0.126 | 0.032 | 0.001 | |
| | 9 | | | | 0.007 | 0.041 | 0.122 | 0.207 | 0.196 | 0.086 | 0.008 | |
| | 10 | | | | 0.001 | 0.014 | 0.061 | 0.155 | 0.229 | 0.172 | 0.035 | 0.004 |
| | 11 | | | | | 0.003 | 0.023 | 0.085 | 0.194 | 0.250 | 0.114 | 0.026 |
| | 12 | | | | | 0.001 | 0.006 | 0.032 | 0.112 | 0.250 | 0.267 | 0.123 |
| | 13 | | | | | | 0.001 | 0.007 | 0.041 | 0.154 | 0.266 | 0.259 |
| | 14 | | | | | | | 0.001 | 0.007 | 0.044 | 0.229 | 0.488 |
| 15 | 0 | 0.488 | 0.206 | 0.035 | 0.005 | | | | | | | |
| | 1 | 0.366 | 0.348 | 0.132 | 0.031 | 0.005 | | | | | | |
| | 2 | 0.135 | 0.267 | 0.231 | 0.092 | 0.022 | 0.003 | | | | | |
| | 3 | 0.031 | 0.129 | 0.250 | 0.170 | 0.063 | 0.014 | 0.002 | | | | |
| | 4 | 0.005 | 0.048 | 0.188 | 0.219 | 0.127 | 0.042 | 0.007 | 0.001 | | | |
| | 5 | 0.001 | 0.010 | 0.103 | 0.206 | 0.186 | 0.092 | 0.024 | 0.003 | | | |
| | 6 | | 0.002 | 0.043 | 0.147 | 0.207 | 0.163 | 0.061 | 0.012 | 0.001 | | |
| | 7 | | | 0.014 | 0.081 | 0.177 | 0.196 | 0.115 | 0.035 | 0.003 | | |
| | 8 | | | 0.003 | 0.035 | 0.118 | 0.196 | 0.177 | 0.081 | 0.014 | | |
| | 9 | | | 0.001 | 0.012 | 0.061 | 0.153 | 0.207 | 0.147 | 0.043 | 0.002 | |
| | 10 | | | | 0.003 | 0.024 | 0.092 | 0.186 | 0.206 | 0.103 | 0.010 | 0.001 |
| | 11 | | | | 0.001 | 0.007 | 0.042 | 0.127 | 0.219 | 0.188 | 0.043 | 0.005 |
| | 12 | | | | | 0.002 | 0.014 | 0.063 | 0.170 | 0.250 | 0.129 | 0.031 |
| | 13 | | | | | | 0.003 | 0.022 | 0.092 | 0.231 | 0.267 | 0.135 |
| | 14 | | | | | | | 0.005 | 0.031 | 0.132 | 0.243 | 0.266 |
| | 15 | | | | | | | | 0.005 | 0.035 | 0.206 | 0.488 |

(۴) اجنبیوں

三

| λ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ϵ^{-1} | 0.36788 | 0.13534 | 0.04979 | 0.01832 | 0.006738 | 0.002479 | 0.000912 | 0.000335 | 0.000123 | 0.000045 |

| λ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 1.0000 | 0.9900 | 0.9802 | 0.9704 | 0.9608 | 0.9512 | 0.9418 | 0.9324 | 0.9231 | 0.9139 |
| 0.1 | 0.9048 | 0.8958 | 0.8869 | 0.8781 | 0.8694 | 0.8607 | 0.8521 | 0.8437 | 0.8353 | 0.8270 |
| 0.2 | 0.8187 | 0.8106 | 0.8025 | 0.7945 | 0.7866 | 0.7788 | 0.7711 | 0.7634 | 0.7558 | 0.7483 |
| 0.3 | 0.7408 | 0.7334 | 0.7261 | 0.7189 | 0.7118 | 0.7047 | 0.6977 | 0.6907 | 0.6839 | 0.6771 |
| 0.4 | 0.6703 | 0.6636 | 0.6570 | 0.6505 | 0.6440 | 0.6376 | 0.6313 | 0.6250 | 0.6188 | 0.6126 |
| 0.5 | 0.6065 | 0.6005 | 0.5945 | 0.5886 | 0.5827 | 0.5770 | 0.5712 | 0.5655 | 0.5599 | 0.5543 |
| 0.6 | 0.5986 | 0.5934 | 0.5379 | 0.5326 | 0.5273 | 0.5220 | 0.5169 | 0.5117 | 0.5066 | 0.5016 |
| 0.7 | 0.4966 | 0.4916 | 0.4868 | 0.4819 | 0.4771 | 0.4724 | 0.4677 | 0.4630 | 0.4584 | 0.4538 |
| 0.8 | 0.4493 | 0.4449 | 0.4404 | 0.4360 | 0.4317 | 0.4274 | 0.4232 | 0.4190 | 0.4148 | 0.4107 |
| 0.9 | 0.4066 | 0.4025 | 0.3985 | 0.3946 | 0.3906 | 0.3867 | 0.3829 | 0.3791 | 0.3753 | 0.3716 |

مثال : $y_1, y_2, \dots, y_n \times y_1, y_2, \dots, y_n = y_1, y_2, \dots, y_n$

2009

(5) الجدول

الاحتمالات والاحتمالات المتجمعة في توزيع بواسون

| x | $\mu = 0.1$ | | $\mu = 0.2$ | | $\mu = 0.3$ | | $\mu = 0.4$ | | $\mu = 0.5$ | |
|---|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) |
| 0 | 0.9048 | 0.9048 | 0.8187 | 0.8187 | 0.7408 | 0.7408 | 0.6703 | 0.6703 | 0.6065 | 0.6065 |
| 1 | 0.0905 | 0.9953 | 0.1637 | 0.9825 | 0.2222 | 0.9631 | 0.2681 | 0.9384 | 0.3033 | 0.9098 |
| 2 | 0.0045 | 0.9998 | 0.0164 | 0.9989 | 0.0333 | 0.9964 | 0.0536 | 0.9921 | 0.0758 | 0.9856 |
| 3 | 0.0002 | 1.0000 | 0.0011 | 0.9999 | 0.0033 | 0.9997 | 0.0072 | 0.9992 | 0.0126 | 0.9982 |
| 4 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0001 | 1.0000 | 0.0003 | 1.0000 | 0.0007 | 0.9999 | 0.0016 | 0.9998 |
| 5 | | | | | | | 0.0001 | 1.0000 | 0.0002 | 1.0000 |

| x | $\mu = 0.6$ | | $\mu = 0.7$ | | $\mu = 0.8$ | | $\mu = 0.9$ | | $\mu = 1$ | |
|---|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-----------|--------|
| | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) |
| 0 | 0.5488 | 0.5488 | 0.4966 | 0.4966 | 0.4493 | 0.4493 | 0.4066 | 0.4066 | 0.3679 | 0.3679 |
| 1 | 0.3293 | 0.8781 | 0.3476 | 0.8442 | 0.3595 | 0.8088 | 0.3659 | 0.7725 | 0.3679 | 0.7358 |
| 2 | 0.0988 | 0.9769 | 0.1217 | 0.9659 | 0.1438 | 0.9526 | 0.1647 | 0.9371 | 0.1839 | 0.9197 |
| 3 | 0.0198 | 0.9966 | 0.0284 | 0.9942 | 0.0383 | 0.9909 | 0.0494 | 0.9865 | 0.0613 | 0.9810 |
| 4 | 0.0030 | 0.9996 | 0.0050 | 0.9992 | 0.0077 | 0.9986 | 0.0111 | 0.9977 | 0.0153 | 0.9963 |
| 5 | 0.0004 | 1.0000 | 0.0007 | 0.9999 | 0.0012 | 0.9998 | 0.0020 | 0.9997 | 0.0031 | 0.9994 |
| 6 | | | 0.0001 | 1.0000 | 0.0002 | 1.0000 | 0.0003 | 1.0000 | 0.0005 | 0.9999 |
| 7 | | | | | | | | | 0.0001 | 1.0000 |

| x | $\mu = 1.5$ | | $\mu = 2$ | | $\mu = 3$ | | $\mu = 4$ | | $\mu = 5$ | |
|----|-------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) | f(x) | F(x) |
| 0 | 0.2231 | 0.2231 | 0.1353 | 0.1353 | 0.0498 | 0.0498 | 0.0183 | 0.0183 | 0.0067 | 0.0067 |
| 1 | 0.3347 | 0.5578 | 0.2707 | 0.4060 | 0.1494 | 0.1991 | 0.0733 | 0.0916 | 0.0337 | 0.0404 |
| 2 | 0.2510 | 0.8088 | 0.2707 | 0.6767 | 0.2240 | 0.4232 | 0.1465 | 0.2381 | 0.0842 | 0.1247 |
| 3 | 0.1255 | 0.9344 | 0.1804 | 0.8571 | 0.2240 | 0.6472 | 0.1954 | 0.4335 | 0.1404 | 0.2650 |
| 4 | 0.0471 | 0.9814 | 0.0902 | 0.9473 | 0.1680 | 0.8153 | 0.1954 | 0.6288 | 0.1755 | 0.4405 |
| 5 | 0.0141 | 0.9955 | 0.0361 | 0.9834 | 0.1008 | 0.9161 | 0.1563 | 0.7851 | 0.1755 | 0.6160 |
| 6 | 0.0035 | 0.9991 | 0.0120 | 0.9955 | 0.0504 | 0.9665 | 0.1042 | 0.8893 | 0.1462 | 0.7622 |
| 7 | 0.0008 | 0.9998 | 0.0034 | 0.9989 | 0.0216 | 0.9881 | 0.0595 | 0.9489 | 0.1044 | 0.8666 |
| 8 | 0.0001 | 1.0000 | 0.0009 | 0.9998 | 0.0081 | 0.9962 | 0.0298 | 0.9786 | 0.0653 | 0.9319 |
| 9 | | | 0.0002 | 1.0000 | 0.0027 | 0.9989 | 0.0132 | 0.9919 | 0.0363 | 0.9682 |
| 10 | | | | | 0.0008 | 0.9997 | 0.0053 | 0.9972 | 0.0181 | 0.9863 |
| 11 | | | | | 0.0002 | 0.9999 | 0.0019 | 0.9991 | 0.0082 | 0.9945 |
| 12 | | | | | 0.0001 | 1.0000 | 0.0006 | 0.9997 | 0.0034 | 0.9980 |
| 13 | | | | | | | 0.0002 | 0.9999 | 0.0013 | 0.9993 |
| 14 | | | | | | | 0.0001 | 1.0000 | 0.0005 | 0.9998 |
| 15 | | | | | | | | | 0.0002 | 0.9999 |
| 16 | | | | | | | | | 0.0000 | 1.0000 |

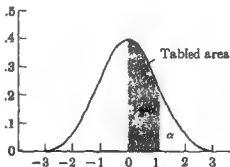
(٦) الجدول

المساحات أسفل المنحنى المعتدل المعياري

Standard
deviation
units

Stan
devi.
un

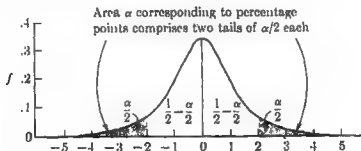
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | un |
|-----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 0.0 | .0000 | .0040 | .0080 | .0120 | .0160 | .0199 | .0239 | .0279 | .0319 | .0359 | 1 |
| 0.1 | .0398 | .0438 | .0478 | .0517 | .0557 | .0596 | .0636 | .0675 | .0714 | .0753 | 1 |
| 0.2 | .0793 | .0832 | .0871 | .0910 | .0948 | .0987 | .1026 | .1064 | .1103 | .1141 | 1 |
| 0.3 | .1179 | .1217 | .1255 | .1293 | .1331 | .1368 | .1406 | .1443 | .1480 | .1517 | 1 |
| 0.4 | .1554 | .1591 | .1628 | .1664 | .1700 | .1736 | .1772 | .1808 | .1844 | .1879 | 1 |
| 0.5 | .1915 | .1950 | .1985 | .2019 | .2054 | .2088 | .2123 | .2157 | .2190 | .2224 | 1 |
| 0.6 | .2257 | .2291 | .2324 | .2357 | .2389 | .2422 | .2454 | .2486 | .2517 | .2549 | 1 |
| 0.7 | .2580 | .2611 | .2642 | .2673 | .2704 | .2734 | .2764 | .2794 | .2823 | .2852 | 1 |
| 0.8 | .2881 | .2910 | .2939 | .2967 | .2995 | .3023 | .3051 | .3078 | .3106 | .3133 | 1 |
| 0.9 | .3159 | .3186 | .3212 | .3238 | .3264 | .3289 | .3315 | .3340 | .3365 | .3389 | 1 |
| 1.0 | .3413 | .3438 | .3461 | .3485 | .3508 | .3531 | .3554 | .3577 | .3599 | .3621 | 1 |
| 1.1 | .3643 | .3665 | .3686 | .3708 | .3729 | .3749 | .3770 | .3790 | .3810 | .3830 | 1 |
| 1.2 | .3849 | .3869 | .3888 | .3907 | .3925 | .3944 | .3962 | .3980 | .3997 | .4015 | 1 |
| 1.3 | .4032 | .4049 | .4066 | .4082 | .4099 | .4115 | .4131 | .4147 | .4162 | .4177 | 1 |
| 1.4 | .4192 | .4207 | .4222 | .4236 | .4251 | .4265 | .4279 | .4292 | .4306 | .4319 | 1 |
| 1.5 | .4332 | .4345 | .4357 | .4370 | .4382 | .4394 | .4406 | .4418 | .4429 | .4441 | 1 |
| 1.6 | .4452 | .4463 | .4474 | .4484 | .4495 | .4505 | .4515 | .4525 | .4535 | .4545 | 1 |
| 1.7 | .4554 | .4564 | .4573 | .4582 | .4591 | .4599 | .4608 | .4616 | .4625 | .4633 | 1 |
| 1.8 | .4641 | .4649 | .4656 | .4664 | .4671 | .4678 | .4686 | .4693 | .4699 | .4706 | 1 |
| 1.9 | .4713 | .4719 | .4726 | .4732 | .4738 | .4744 | .4750 | .4756 | .4761 | .4767 | 1 |
| 2.0 | .4772 | .4778 | .4783 | .4788 | .4793 | .4798 | .4803 | .4808 | .4812 | .4817 | 2 |
| 2.1 | .4821 | .4826 | .4830 | .4834 | .4838 | .4842 | .4846 | .4850 | .4854 | .4857 | 2 |
| 2.2 | .4861 | .4864 | .4868 | .4871 | .4875 | .4878 | .4881 | .4884 | .4887 | .4890 | 2 |
| 2.3 | .4893 | .4896 | .4898 | .4901 | .4904 | .4906 | .4909 | .4911 | .4913 | .4916 | 2 |
| 2.4 | .4918 | .4920 | .4922 | .4925 | .4927 | .4929 | .4931 | .4932 | .4934 | .4936 | 2 |
| 2.5 | .4938 | .4940 | .4941 | .4943 | .4945 | .4946 | .4948 | .4949 | .4951 | .4952 | 2 |
| 2.6 | .4953 | .4955 | .4956 | .4957 | .4959 | .4960 | .4961 | .4962 | .4963 | .4964 | 2 |
| 2.7 | .4965 | .4966 | .4967 | .4968 | .4969 | .4970 | .4971 | .4972 | .4973 | .4974 | 2 |
| 2.8 | .4974 | .4975 | .4976 | .4977 | .4977 | .4978 | .4979 | .4979 | .4980 | .4981 | 2 |
| 2.9 | .4981 | .4982 | .4982 | .4983 | .4984 | .4984 | .4985 | .4985 | .4986 | .4986 | 2 |
| 3.0 | .4987 | .4987 | .4987 | .4988 | .4988 | .4989 | .4989 | .4989 | .4990 | .4990 | 3 |
| 3.1 | .4990 | .4991 | .4991 | .4991 | .4992 | .4992 | .4992 | .4992 | .4993 | .4993 | 3 |
| 3.2 | .4993 | .4993 | .4994 | .4994 | .4994 | .4994 | .4994 | .4995 | .4995 | .4995 | 3 |
| 3.3 | .4995 | .4995 | .4995 | .4996 | .4996 | .4996 | .4996 | .4996 | .4996 | .4997 | 3 |
| 3.4 | .4997 | .4997 | .4997 | .4997 | .4997 | .4997 | .4997 | .4997 | .4997 | .4998 | 3 |
| 3.5 | .499767 | | | | | | | | | | |
| 3.6 | .499841 | | | | | | | | | | |
| 3.7 | .499892 | | | | | | | | | | |
| 3.8 | .499928 | | | | | | | | | | |
| 3.9 | .499952 | | | | | | | | | | |
| 4.0 | .499968 | | | | | | | | | | |
| 4.1 | .499979 | | | | | | | | | | |
| 4.2 | .499987 | | | | | | | | | | |
| 4.3 | .499991 | | | | | | | | | | |
| 4.4 | .499993 | | | | | | | | | | |
| 4.5 | .499997 | | | | | | | | | | |
| 4.6 | .499998 | | | | | | | | | | |
| 4.7 | .499999 | | | | | | | | | | |
| 4.8 | .499999 | | | | | | | | | | |
| 4.9 | .500000 | | | | | | | | | | |



Note: The quantity given is the area under the standard normal density function between the mean and the critical point. The area is generally labeled $\frac{1}{2} - \alpha$ (as shown in the figure). By inverse interpolation one can find the number of standard deviations corresponding to a given area.

الجدول (٧)
القيم الحرجة لتوزيع ت

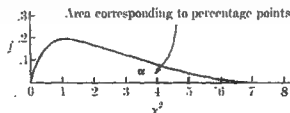
| α | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.001 | α |
|----------|------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|
| 1 | .158 | 1.000 | 1.376 | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.657 | 636.619 | 1 |
| 2 | .142 | .816 | 1.061 | 1.886 | 2.920 | 4.303 | 6.965 | 9.925 | 31.598 | 2 |
| 3 | .137 | .785 | .978 | 1.638 | 2.353 | 3.182 | 4.541 | 5.841 | 12.924 | 3 |
| 4 | .134 | .761 | .941 | 1.533 | 2.132 | 2.776 | 3.747 | 4.604 | 8.610 | 4 |
| 5 | .132 | .727 | .920 | 1.476 | 2.015 | 2.571 | 3.365 | 4.032 | 6.869 | 5 |
| 6 | .131 | .718 | .906 | 1.440 | 1.943 | 2.447 | 3.143 | 3.707 | 5.959 | 6 |
| 7 | .130 | .711 | .896 | 1.415 | 1.895 | 2.365 | 2.998 | 3.499 | 5.408 | 7 |
| 8 | .130 | .706 | .889 | 1.397 | 1.860 | 2.306 | 2.896 | 3.355 | 5.041 | 8 |
| 9 | .129 | .703 | .883 | 1.383 | 1.833 | 2.262 | 2.821 | 3.250 | 4.781 | 9 |
| 10 | .129 | .700 | .879 | 1.372 | 1.812 | 2.228 | 2.764 | 3.169 | 4.587 | 10 |
| 11 | .129 | .697 | .876 | 1.363 | 1.796 | 2.201 | 2.718 | 3.106 | 4.437 | 11 |
| 12 | .128 | .695 | .873 | 1.356 | 1.782 | 2.179 | 2.681 | 3.055 | 4.318 | 12 |
| 13 | .128 | .694 | .870 | 1.350 | 1.771 | 2.160 | 2.650 | 3.012 | 4.221 | 13 |
| 14 | .128 | .692 | .868 | 1.345 | 1.761 | 2.145 | 2.624 | 2.977 | 4.140 | 14 |
| 15 | .128 | .691 | .866 | 1.341 | 1.753 | 2.131 | 2.602 | 2.947 | 4.073 | 15 |
| 16 | .128 | .690 | .865 | 1.337 | 1.746 | 2.120 | 2.583 | 2.921 | 4.015 | 16 |
| 17 | .128 | .689 | .863 | 1.333 | 1.740 | 2.110 | 2.567 | 2.898 | 3.965 | 17 |
| 18 | .127 | .688 | .862 | 1.330 | 1.734 | 2.101 | 2.552 | 2.878 | 3.922 | 18 |
| 19 | .127 | .688 | .861 | 1.328 | 1.729 | 2.093 | 2.539 | 2.861 | 3.883 | 19 |
| 20 | .127 | .687 | .860 | 1.325 | 1.725 | 2.086 | 2.528 | 2.845 | 3.850 | 20 |
| 21 | .127 | .686 | .859 | 1.323 | 1.721 | 2.080 | 2.518 | 2.831 | 3.819 | 21 |
| 22 | .127 | .686 | .858 | 1.321 | 1.717 | 2.074 | 2.508 | 2.819 | 3.792 | 22 |
| 23 | .127 | .685 | .857 | 1.319 | 1.714 | 2.069 | 2.500 | 2.807 | 3.767 | 23 |
| 24 | .127 | .685 | .857 | 1.318 | 1.711 | 2.064 | 2.492 | 2.797 | 3.745 | 24 |
| 25 | .127 | .684 | .856 | 1.316 | 1.708 | 2.060 | 2.485 | 2.787 | 3.725 | 25 |
| 26 | .127 | .684 | .856 | 1.315 | 1.706 | 2.056 | 2.479 | 2.779 | 3.707 | 26 |
| 27 | .127 | .684 | .855 | 1.314 | 1.703 | 2.052 | 2.473 | 2.771 | 3.690 | 27 |
| 28 | .127 | .683 | .855 | 1.313 | 1.701 | 2.048 | 2.467 | 2.763 | 3.674 | 28 |
| 29 | .127 | .683 | .854 | 1.311 | 1.699 | 2.045 | 2.462 | 2.756 | 3.659 | 29 |
| 30 | .127 | .683 | .854 | 1.310 | 1.697 | 2.042 | 2.457 | 2.750 | 3.646 | 30 |
| 40 | .126 | .681 | .851 | 1.303 | 1.684 | 2.021 | 2.432 | 2.704 | 3.551 | 40 |
| 60 | .126 | .679 | .848 | 1.296 | 1.671 | 2.000 | 2.390 | 2.660 | 3.460 | 60 |
| 120 | .126 | .677 | .845 | 1.289 | 1.658 | 1.980 | 2.358 | 2.617 | 3.373 | 120 |
| ∞ | .126 | .674 | .842 | 1.282 | 1.645 - | 1.960 | 2.326 | 2.576 | 3.291 | ∞ |



الجدول (٨)
القيم المحرجة لتوزيع χ^2

| α | 0.995 | 0.975 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 | ν |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.455 | 2.706 | 3.841 | 5.024 | 6.635 | 7.879 | 1 |
| 2 | 0.010 | 0.051 | 0.211 | 1.386 | 4.605 | 5.991 | 7.378 | 9.210 | 10.597 | 2 |
| 3 | 0.072 | 0.216 | 0.584 | 2.366 | 6.251 | 7.815 | 9.348 | 11.345 | 12.838 | 3 |
| 4 | 0.207 | 0.484 | 1.064 | 3.357 | 7.779 | 9.488 | 11.143 | 13.277 | 14.860 | 4 |
| 5 | 0.412 | 0.831 | 1.610 | 4.351 | 9.236 | 11.070 | 12.832 | 15.086 | 16.750 | 5 |
| 6 | 0.676 | 1.237 | 2.204 | 5.348 | 10.645 | 12.592 | 14.449 | 16.812 | 18.548 | 6 |
| 7 | 0.989 | 1.690 | 2.833 | 6.346 | 12.017 | 14.067 | 16.013 | 18.475 | 20.278 | 7 |
| 8 | 1.344 | 2.180 | 3.490 | 7.344 | 13.362 | 15.507 | 17.535 | 20.090 | 21.955 | 8 |
| 9 | 1.735 | 2.700 | 4.168 | 8.343 | 14.684 | 16.919 | 19.023 | 21.666 | 23.589 | 9 |
| 10 | 2.156 | 3.247 | 4.865 | 9.342 | 15.987 | 18.307 | 20.483 | 23.209 | 25.188 | 10 |
| 11 | 2.603 | 3.816 | 5.578 | 10.341 | 17.275 | 19.675 | 21.920 | 24.725 | 26.757 | 11 |
| 12 | 3.074 | 4.404 | 6.304 | 11.340 | 18.549 | 21.026 | 23.337 | 26.217 | 28.300 | 12 |
| 13 | 3.565 | 5.009 | 7.042 | 12.340 | 19.812 | 22.362 | 24.736 | 27.688 | 29.819 | 13 |
| 14 | 4.075 | 5.629 | 7.790 | 13.339 | 21.064 | 23.685 | 26.119 | 29.141 | 31.319 | 14 |
| 15 | 4.601 | 6.262 | 8.547 | 14.339 | 22.307 | 24.996 | 27.488 | 30.578 | 32.801 | 15 |
| 16 | 5.142 | 6.908 | 9.312 | 15.338 | 23.542 | 26.296 | 28.845 | 32.000 | 34.267 | 16 |
| 17 | 5.697 | 7.564 | 10.085 | 16.338 | 24.769 | 27.587 | 30.191 | 33.409 | 35.718 | 17 |
| 18 | 6.265 | 8.231 | 10.865 | 17.338 | 25.989 | 28.869 | 31.526 | 34.805 | 37.156 | 18 |
| 19 | 6.844 | 8.907 | 11.651 | 18.338 | 27.204 | 30.144 | 32.852 | 36.191 | 38.582 | 19 |
| 20 | 7.434 | 9.591 | 12.443 | 19.337 | 28.412 | 31.410 | 34.170 | 37.566 | 39.997 | 20 |
| 21 | 8.034 | 10.283 | 13.240 | 20.337 | 29.615 | 32.670 | 35.479 | 38.932 | 41.401 | 21 |
| 22 | 8.643 | 10.982 | 14.042 | 21.337 | 30.813 | 33.924 | 36.781 | 40.289 | 42.796 | 22 |
| 23 | 9.260 | 11.688 | 14.848 | 22.337 | 32.007 | 35.172 | 38.076 | 41.638 | 44.181 | 23 |
| 24 | 9.886 | 12.401 | 15.659 | 23.337 | 33.196 | 36.415 | 39.364 | 42.980 | 45.558 | 24 |
| 25 | 10.520 | 13.120 | 16.473 | 24.337 | 34.382 | 37.652 | 40.646 | 44.314 | 46.928 | 25 |
| 26 | 11.160 | 13.844 | 17.292 | 25.336 | 35.563 | 38.885 | 41.923 | 45.642 | 48.290 | 26 |
| 27 | 11.808 | 14.573 | 18.114 | 26.336 | 36.741 | 40.113 | 43.194 | 46.963 | 49.645 | 27 |
| 28 | 12.461 | 15.308 | 18.939 | 27.336 | 37.916 | 41.337 | 44.461 | 48.278 | 50.993 | 28 |
| 29 | 13.121 | 16.047 | 19.768 | 28.336 | 39.088 | 42.557 | 45.722 | 49.588 | 52.336 | 29 |
| 30 | 13.787 | 16.791 | 20.599 | 29.336 | 40.256 | 43.773 | 46.979 | 50.892 | 53.672 | 30 |
| 31 | 14.458 | 17.539 | 21.434 | 30.336 | 41.422 | 44.985 | 48.232 | 52.191 | 55.003 | 31 |
| 32 | 15.134 | 18.291 | 22.271 | 31.336 | 42.585 | 46.194 | 49.480 | 53.486 | 56.329 | 32 |
| 33 | 15.815 | 19.047 | 23.110 | 32.336 | 43.745 | 47.400 | 50.725 | 54.776 | 57.649 | 33 |
| 34 | 16.501 | 19.806 | 23.952 | 33.336 | 44.903 | 48.602 | 51.966 | 56.061 | 58.964 | 34 |
| 35 | 17.192 | 20.569 | 24.797 | 34.336 | 46.059 | 49.802 | 53.203 | 57.342 | 60.275 | 35 |
| 36 | 17.887 | 21.336 | 25.643 | 35.336 | 47.212 | 50.998 | 54.437 | 58.619 | 61.582 | 36 |
| 37 | 18.586 | 22.106 | 26.492 | 36.335 | 48.363 | 52.192 | 55.668 | 59.892 | 62.884 | 37 |
| 38 | 19.289 | 22.878 | 27.343 | 37.335 | 49.513 | 53.384 | 56.896 | 61.162 | 64.182 | 38 |
| 39 | 19.996 | 23.654 | 28.196 | 38.335 | 50.660 | 54.572 | 58.120 | 62.428 | 65.476 | 39 |
| 40 | 20.707 | 24.433 | 29.051 | 39.335 | 51.805 | 55.758 | 59.342 | 63.691 | 66.766 | 40 |
| 41 | 21.421 | 25.215 | 29.907 | 40.335 | 52.949 | 56.942 | 60.561 | 64.950 | 68.053 | 41 |
| 42 | 22.138 | 25.999 | 30.765 | 41.335 | 54.090 | 58.124 | 61.777 | 66.206 | 69.336 | 42 |
| 43 | 22.859 | 26.785 | 31.625 | 42.335 | 55.230 | 59.304 | 62.990 | 67.459 | 70.616 | 43 |
| 44 | 23.584 | 27.575 | 32.487 | 43.335 | 56.369 | 60.481 | 64.202 | 68.710 | 71.893 | 44 |
| 45 | 24.311 | 28.366 | 33.350 | 44.335 | 57.505 | 61.656 | 65.410 | 69.957 | 73.166 | 45 |
| 46 | 25.042 | 29.160 | 34.215 | 45.335 | 58.641 | 62.830 | 66.617 | 71.201 | 74.437 | 46 |
| 47 | 25.775 | 29.956 | 35.081 | 46.335 | 59.774 | 64.001 | 67.821 | 72.443 | 75.704 | 47 |
| 48 | 26.511 | 30.755 | 35.949 | 47.335 | 60.907 | 65.171 | 69.023 | 73.683 | 76.969 | 48 |
| 49 | 27.249 | 31.555 | 36.818 | 48.335 | 62.038 | 66.339 | 70.222 | 74.919 | 78.231 | 49 |
| 50 | 27.991 | 32.357 | 37.689 | 49.335 | 63.167 | 67.505 | 71.420 | 76.154 | 79.490 | 50 |

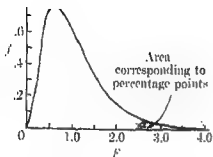
٢٢٩



تابع الجدول (أ)
القيم المرحلة لتوزيع χ^2

| α | 0.995 | 0.975 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 | ν |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|
| 51 | 28.735 | 33.162 | 38.560 | 50.335 | 64.295 | 68.669 | 72.616 | 77.386 | 80.747 | 51 |
| 52 | 29.481 | 33.968 | 39.433 | 51.335 | 65.422 | 69.832 | 73.810 | 78.616 | 82.001 | 52 |
| 53 | 30.230 | 34.776 | 40.308 | 52.335 | 66.548 | 70.993 | 75.002 | 79.843 | 83.253 | 53 |
| 54 | 30.981 | 35.586 | 41.183 | 53.335 | 67.673 | 72.153 | 76.192 | 81.069 | 84.502 | 54 |
| 55 | 31.735 | 36.398 | 42.060 | 54.335 | 68.796 | 73.311 | 77.380 | 82.292 | 85.749 | 55 |
| 56 | 32.490 | 37.212 | 42.937 | 55.335 | 69.918 | 74.468 | 78.567 | 83.513 | 86.994 | 56 |
| 57 | 33.248 | 38.027 | 43.816 | 56.335 | 71.040 | 75.624 | 79.752 | 84.733 | 88.237 | 57 |
| 58 | 34.008 | 38.844 | 44.696 | 57.335 | 72.160 | 76.778 | 80.936 | 85.950 | 89.477 | 58 |
| 59 | 34.770 | 39.662 | 45.577 | 58.335 | 73.279 | 77.931 | 82.117 | 87.166 | 90.715 | 59 |
| 60 | 35.534 | 40.482 | 46.459 | 59.335 | 74.397 | 79.082 | 83.298 | 88.379 | 91.952 | 60 |
| 61 | 36.300 | 41.303 | 47.342 | 60.335 | 75.514 | 80.232 | 84.476 | 89.591 | 93.186 | 61 |
| 62 | 37.068 | 42.126 | 48.226 | 61.335 | 76.630 | 81.381 | 85.654 | 90.802 | 94.419 | 62 |
| 63 | 37.838 | 42.950 | 49.111 | 62.335 | 77.745 | 82.529 | 86.830 | 92.010 | 95.649 | 63 |
| 64 | 38.610 | 43.776 | 49.996 | 63.335 | 78.860 | 83.675 | 88.004 | 93.217 | 96.878 | 64 |
| 65 | 39.383 | 44.603 | 50.883 | 64.335 | 79.973 | 84.821 | 89.177 | 94.422 | 98.105 | 65 |
| 66 | 40.158 | 45.431 | 51.770 | 65.335 | 81.085 | 85.965 | 90.349 | 95.626 | 99.331 | 66 |
| 67 | 40.935 | 46.261 | 52.659 | 66.335 | 82.197 | 87.108 | 91.519 | 96.828 | 100.555 | 67 |
| 68 | 41.713 | 47.092 | 53.548 | 67.334 | 83.308 | 88.250 | 92.689 | 98.028 | 101.78 | 68 |
| 69 | 42.494 | 47.924 | 54.438 | 68.334 | 84.418 | 89.391 | 93.856 | 99.228 | 103.00 | 69 |
| 70 | 43.275 | 48.758 | 55.329 | 69.334 | 85.527 | 90.531 | 95.023 | 100.43 | 104.21 | 70 |
| 71 | 44.058 | 49.592 | 56.221 | 70.334 | 86.635 | 91.670 | 96.189 | 101.62 | 105.43 | 71 |
| 72 | 44.843 | 50.426 | 57.113 | 71.334 | 87.743 | 92.808 | 97.353 | 102.82 | 106.65 | 72 |
| 73 | 45.629 | 51.265 | 58.006 | 72.334 | 88.850 | 93.945 | 98.516 | 104.01 | 107.86 | 73 |
| 74 | 46.417 | 52.103 | 58.900 | 73.334 | 89.956 | 95.081 | 99.678 | 105.20 | 109.07 | 74 |
| 75 | 47.206 | 52.942 | 59.795 | 74.334 | 91.061 | 96.217 | 100.84 | 106.39 | 110.29 | 75 |
| 76 | 47.997 | 53.782 | 60.690 | 75.334 | 92.166 | 97.351 | 102.00 | 107.58 | 111.50 | 76 |
| 77 | 48.788 | 54.621 | 61.586 | 76.334 | 93.270 | 98.484 | 103.16 | 108.77 | 112.70 | 77 |
| 78 | 49.582 | 55.466 | 62.483 | 77.334 | 94.373 | 99.617 | 104.32 | 109.96 | 113.91 | 78 |
| 79 | 50.376 | 56.309 | 63.380 | 78.334 | 95.476 | 100.75 | 105.47 | 111.14 | 115.12 | 79 |
| 80 | 51.172 | 57.153 | 64.278 | 79.334 | 96.578 | 101.88 | 106.63 | 112.33 | 116.32 | 80 |
| 81 | 51.969 | 57.998 | 65.176 | 80.334 | 97.680 | 103.01 | 107.78 | 113.51 | 117.52 | 81 |
| 82 | 52.767 | 58.845 | 66.076 | 81.334 | 98.780 | 104.14 | 108.94 | 114.69 | 118.73 | 82 |
| 83 | 53.567 | 59.692 | 66.976 | 82.334 | 99.880 | 105.27 | 110.09 | 115.88 | 119.93 | 83 |
| 84 | 54.368 | 60.540 | 67.876 | 83.334 | 100.98 | 106.39 | 111.24 | 117.06 | 121.13 | 84 |
| 85 | 55.170 | 61.389 | 68.777 | 84.334 | 102.08 | 107.52 | 112.39 | 118.24 | 122.32 | 85 |
| 86 | 55.973 | 62.239 | 69.679 | 85.334 | 103.18 | 108.65 | 113.54 | 119.41 | 123.52 | 86 |
| 87 | 56.777 | 63.089 | 70.581 | 86.334 | 104.28 | 109.77 | 114.69 | 120.59 | 124.72 | 87 |
| 88 | 57.582 | 63.941 | 71.484 | 87.334 | 105.37 | 110.90 | 115.84 | 121.77 | 125.91 | 88 |
| 89 | 58.389 | 64.793 | 72.387 | 88.334 | 106.47 | 112.02 | 116.99 | 122.94 | 127.11 | 89 |
| 90 | 59.196 | 65.647 | 73.291 | 89.334 | 107.56 | 113.15 | 118.14 | 124.12 | 128.30 | 90 |
| 91 | 60.005 | 66.501 | 74.196 | 90.334 | 108.66 | 114.27 | 119.28 | 125.29 | 129.49 | 91 |
| 92 | 60.815 | 67.356 | 75.101 | 91.334 | 109.76 | 115.39 | 120.43 | 126.46 | 130.68 | 92 |
| 93 | 61.625 | 68.211 | 76.006 | 92.334 | 110.85 | 116.51 | 121.57 | 127.63 | 131.87 | 93 |
| 94 | 62.437 | 69.068 | 76.912 | 93.334 | 111.94 | 117.63 | 122.72 | 128.80 | 133.06 | 94 |
| 95 | 63.250 | 69.925 | 77.818 | 94.334 | 113.04 | 118.75 | 123.86 | 129.97 | 134.25 | 95 |
| 96 | 64.063 | 70.783 | 78.725 | 95.334 | 114.13 | 119.87 | 125.00 | 131.14 | 135.43 | 96 |
| 97 | 64.878 | 71.642 | 79.633 | 96.334 | 115.22 | 120.99 | 126.14 | 132.31 | 136.62 | 97 |
| 98 | 65.694 | 72.501 | 80.541 | 97.334 | 116.32 | 122.11 | 127.28 | 133.48 | 137.80 | 98 |
| 99 | 66.510 | 73.361 | 81.449 | 98.334 | 117.41 | 123.23 | 128.42 | 134.64 | 138.99 | 99 |
| 100 | 67.328 | 74.222 | 82.358 | 99.334 | 118.50 | 124.34 | 129.56 | 135.81 | 140.17 | 100 |

Area
corresponding to
percentage points



| α | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | α |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 1.61 | 1.99 | 2.16 | 2.25 | 2.30 | 2.34 | 2.37 | 2.39 | 2.41 | 2.41 | 2.43 | .05 |
| .025 | 6.68 | 8.00 | 8.64 | 9.00 | 9.22 | 9.37 | 9.48 | 9.57 | 9.63 | 9.69 | 9.73 | .025 |
| .01 | 4.050 | 5.000 | 5.400 | 5.620 | 5.760 | 5.860 | 5.930 | 5.980 | 6.020 | 6.060 | 6.080 | .01 |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 18.5 | 19.0 | 19.2 | 19.2 | 19.3 | 19.3 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | .05 |
| .025 | 38.5 | 39.0 | 39.2 | 39.2 | 39.3 | 39.3 | 39.4 | 39.4 | 39.4 | 39.4 | 39.4 | .025 |
| .01 | 98.5 | 99.0 | 99.2 | 99.2 | 99.3 | 99.3 | 99.4 | 99.4 | 99.4 | 99.4 | 99.4 | .01 |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 10.1 | 9.55 | 9.28 | 9.12 | 9.01 | 8.94 | 8.89 | 8.85 | 8.81 | 8.79 | 8.76 | .05 |
| .025 | 17.4 | 16.0 | 15.4 | 15.1 | 14.9 | 14.7 | 14.6 | 14.5 | 14.5 | 14.4 | 14.3 | .025 |
| .01 | 34.1 | 30.8 | 29.5 | 28.7 | 28.2 | 27.9 | 27.7 | 27.5 | 27.3 | 27.2 | 27.1 | .01 |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 7.71 | 6.94 | 6.59 | 6.39 | 6.26 | 6.16 | 6.09 | 6.04 | 6.00 | 5.96 | 5.93 | .05 |
| .025 | 12.2 | 10.6 | 9.98 | 9.60 | 9.36 | 9.20 | 9.07 | 8.98 | 8.90 | 8.84 | 8.79 | .025 |
| .01 | 21.2 | 18.0 | 16.7 | 16.0 | 15.5 | 15.2 | 15.0 | 14.8 | 14.7 | 14.5 | 14.4 | .01 |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 6.61 | 5.19 | 5.42 | 5.19 | 5.05 | 4.95 | 4.88 | 4.82 | 4.77 | 4.74 | 4.71 | .05 |
| .025 | 10.0 | 8.43 | 7.76 | 7.39 | 7.15 | 6.98 | 6.85 | 6.76 | 6.68 | 6.62 | 6.57 | .025 |
| .01 | 16.3 | 13.3 | 12.1 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.3 | 10.2 | 10.1 | 9.99 | .01 |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 5.99 | 5.14 | 4.76 | 4.53 | 4.39 | 4.28 | 4.21 | 4.15 | 4.10 | 4.06 | 4.03 | .05 |
| .025 | 8.81 | 7.26 | 6.60 | 6.23 | 5.99 | 5.82 | 5.70 | 5.60 | 5.52 | 5.46 | 5.41 | .025 |
| .01 | 13.7 | 10.9 | 9.78 | 9.15 | 8.75 | 8.47 | 8.26 | 8.10 | 7.98 | 7.87 | 7.79 | .01 |
| 7 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 5.39 | 4.74 | 4.35 | 4.12 | 3.97 | 3.87 | 3.77 | 3.73 | 3.68 | 3.64 | 3.60 | .05 |
| .025 | 8.07 | 6.54 | 5.89 | 5.52 | 5.29 | 5.12 | 4.99 | 4.89 | 4.82 | 4.76 | 4.71 | .025 |
| .01 | 12.2 | 9.55 | 8.45 | 7.85 | 7.46 | 7.19 | 6.99 | 6.84 | 6.72 | 6.62 | 6.54 | .01 |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 5.32 | 4.46 | 4.07 | 3.84 | 3.69 | 3.58 | 3.50 | 3.44 | 3.39 | 3.35 | 3.31 | .05 |
| .025 | 7.57 | 6.06 | 5.42 | 5.05 | 4.82 | 4.65 | 4.53 | 4.43 | 4.36 | 4.30 | 4.25 | .025 |
| .01 | 11.3 | 8.65 | 7.59 | 7.01 | 6.63 | 6.37 | 6.16 | 6.03 | 5.91 | 5.81 | 5.73 | .01 |
| 9 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 5.12 | 4.26 | 3.86 | 3.63 | 3.48 | 3.37 | 3.29 | 3.23 | 3.18 | 3.14 | 3.10 | .05 |
| .025 | 7.21 | 5.71 | 5.08 | 4.72 | 4.48 | 4.32 | 4.20 | 4.10 | 4.03 | 3.96 | 3.91 | .025 |
| .01 | 10.6 | 8.02 | 6.99 | 6.42 | 6.06 | 5.80 | 5.61 | 5.47 | 5.35 | 5.26 | 5.18 | .01 |
| 10 | | | | | | | | | | | | |
| .05 | 4.96 | 4.10 | 3.71 | 3.48 | 3.33 | 3.22 | 3.14 | 3.07 | 3.02 | 2.98 | 2.94 | .05 |
| .025 | 6.94 | 5.46 | 4.83 | 4.47 | 4.24 | 4.07 | 3.95 | 3.85 | 3.78 | 3.72 | 3.67 | .025 |
| .01 | 10.0 | 7.36 | 6.35 | 5.79 | 5.64 | 5.39 | 5.20 | 5.06 | 4.94 | 4.85 | 4.77 | .01 |

تابع الجدول (٩)
القيم المحرجة لتوزيع ف

| α | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | ∞ | α |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 .05
.025
.01 | 244
977
6110 | 246
985
6160 | 248
993
6210 | 249
997
6230 | 250
1000
6260 | 251
1010
6290 | 252
1010
6310 | 253
1010
6340 | 254
1020
6370 | .05 1
.025
.01 |
| 2 .05
.025
.01 | 19.4
39.4
99.4 | 19.4
39.4
99.4 | 19.4
39.4
99.4 | 19.5
39.5
99.5 | 19.5
39.5
99.5 | 19.5
39.5
99.5 | 19.5
39.5
99.5 | 19.5
39.5
99.5 | 19.5
39.5
99.5 | .05 2
.025
.01 |
| 3 .05
.025
.01 | 8.74
14.3
27.1 | 8.70
14.3
26.9 | 8.66
14.2
26.7 | 8.64
14.1
26.6 | 8.62
14.1
26.5 | 8.59
14.0
26.4 | 8.57
14.0
26.3 | 8.55
13.9
26.2 | 8.53
13.9
26.1 | .05 3
.025
.01 |
| 4 .05
.025
.01 | 5.91
8.75
14.4 | 5.86
8.66
14.2 | 5.80
8.56
14.0 | 5.77
8.51
13.9 | 5.75
8.46
13.8 | 5.72
8.41
13.7 | 5.69
8.36
13.7 | 5.66
8.31
13.6 | 5.63
8.26
13.5 | .05 4
.025
.01 |
| 5 .05
.025
.01 | 4.68
6.52
9.89 | 4.62
6.43
9.72 | 4.56
6.33
9.55 | 4.53
6.28
9.47 | 4.50
6.23
9.38 | 4.46
6.18
9.29 | 4.43
6.12
9.20 | 4.40
6.07
9.11 | 4.36
6.02
9.02 | .05 5
.025
.01 |
| 6 .05
.025
.01 | 4.00
5.37
7.72 | 3.94
5.27
7.56 | 3.87
5.17
7.40 | 3.84
5.12
7.31 | 3.81
5.07
7.23 | 3.77
5.01
7.14 | 3.74
4.96
7.06 | 3.70
4.90
6.97 | 3.67
4.85
6.88 | .05 6
.025
.01 |
| 7 .05
.025
.01 | 3.57
4.67
6.47 | 3.51
4.57
6.31 | 3.44
4.47
6.16 | 3.41
4.42
6.07 | 3.38
4.36
5.99 | 3.34
4.31
5.91 | 3.30
4.25
5.82 | 3.27
4.20
5.74 | 3.23
4.14
5.65 | .05
.025
.01 |
| 8 .05
.025
.01 | 3.28
4.20
5.67 | 3.22
4.10
5.52 | 3.15
4.00
5.36 | 3.12
3.95
5.28 | 3.08
3.89
5.20 | 3.04
3.84
5.12 | 3.01
3.78
5.03 | 2.97
3.73
4.95 | 2.93
3.67
4.86 | .05
.025
.01 |
| 9 .05
.025
.01 | 3.07
3.87
5.11 | 3.01
3.77
4.96 | 2.94
3.67
4.81 | 2.90
3.61
4.73 | 2.86
3.56
4.65 | 2.83
3.51
4.57 | 2.79
3.45
4.48 | 2.75
3.39
4.40 | 2.71
3.33
4.31 | .05
.025
.01 |
| 10 .05
.025
.01 | 2.91
3.62
4.71 | 2.85
3.52
4.56 | 2.77
3.42
4.41 | 2.74
3.37
4.33 | 2.70
3.31
4.25 | 2.66
3.26
4.17 | 2.62
3.20
4.08 | 2.58
3.14
4.00 | 2.54
3.08
3.91 | .05
.025
.01 |

تابع الجدول (٩)
القيم الحرجة لتوزيع ف

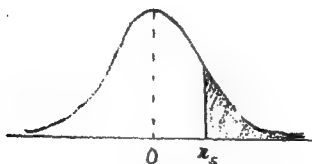
| α | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | α |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| 11 .05 | 4.84 | 3.98 | 3.59 | 3.36 | 3.20 | 3.09 | 3.01 | 2.95 | 2.90 | 2.85 | 2.82 | .05 11 |
| .025 | 6.72 | 5.26 | 4.63 | 4.28 | 4.04 | 3.88 | 3.76 | 3.66 | 3.59 | 3.53 | 3.48 | .025 |
| .01 | 9.65 | 7.21 | 6.22 | 5.67 | 5.32 | 5.07 | 4.89 | 4.74 | 4.63 | 4.54 | 4.46 | .01 |
| 12 .05 | 4.75 | 3.89 | 3.49 | 3.26 | 3.11 | 3.00 | 2.91 | 2.85 | 2.80 | 2.75 | 2.72 | .05 12 |
| .025 | 6.55 | 5.10 | 4.47 | 4.12 | 3.89 | 3.73 | 3.61 | 3.51 | 3.44 | 3.37 | 3.32 | .025 |
| .01 | 9.33 | 6.93 | 5.95 | 5.41 | 5.06 | 4.82 | 4.64 | 4.50 | 4.39 | 4.30 | 4.22 | .01 |
| 15 .05 | 4.54 | 3.68 | 3.29 | 3.06 | 2.90 | 2.79 | 2.71 | 2.64 | 2.59 | 2.54 | 2.51 | .05 15 |
| .025 | 6.20 | 4.77 | 4.15 | 3.80 | 3.58 | 3.41 | 3.29 | 3.20 | 3.12 | 3.06 | 3.01 | .025 |
| .01 | 8.68 | 6.36 | 5.42 | 4.89 | 4.56 | 4.32 | 4.14 | 4.00 | 3.89 | 3.80 | 3.73 | .01 |
| 20 .05 | 4.35 | 3.49 | 3.10 | 2.87 | 2.71 | 2.60 | 2.51 | 2.45 | 2.39 | 2.35 | 2.31 | .05 20 |
| .025 | 5.87 | 4.46 | 3.86 | 3.51 | 3.29 | 3.13 | 3.01 | 2.91 | 2.84 | 2.77 | 2.72 | .025 |
| .01 | 8.10 | 5.85 | 4.94 | 4.43 | 4.10 | 3.87 | 3.70 | 3.56 | 3.46 | 3.37 | 3.29 | .01 |
| 24 .05 | 4.26 | 3.40 | 3.01 | 2.78 | 2.62 | 2.51 | 2.42 | 2.36 | 2.30 | 2.25 | 2.22 | .05 24 |
| .025 | 5.72 | 4.32 | 3.72 | 3.38 | 3.15 | 2.99 | 2.87 | 2.78 | 2.70 | 2.64 | 2.59 | .025 |
| .01 | 7.82 | 5.61 | 4.72 | 4.22 | 3.90 | 3.67 | 3.50 | 3.36 | 3.26 | 3.17 | 3.09 | .01 |
| 30 .05 | 4.17 | 3.32 | 2.92 | 2.69 | 2.53 | 2.42 | 2.33 | 2.27 | 2.21 | 2.16 | 2.13 | .05 30 |
| .025 | 5.57 | 4.18 | 3.59 | 3.25 | 3.03 | 2.87 | 2.75 | 2.65 | 2.57 | 2.51 | 2.46 | .025 |
| .01 | 7.56 | 5.39 | 4.51 | 4.02 | 3.70 | 3.47 | 3.30 | 3.17 | 3.07 | 2.98 | 2.90 | .01 |
| 40 .05 | 4.08 | 3.23 | 2.84 | 2.61 | 2.45 | 2.34 | 2.25 | 2.18 | 2.12 | 2.08 | 2.04 | .05 40 |
| .025 | 5.42 | 4.05 | 3.46 | 3.13 | 2.90 | 2.74 | 2.62 | 2.53 | 2.45 | 2.39 | 2.33 | .025 |
| .01 | 7.31 | 5.18 | 4.31 | 3.83 | 3.51 | 3.29 | 3.12 | 2.99 | 2.89 | 2.80 | 2.73 | .01 |
| 60 .05 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.25 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 1.99 | 1.95 | .05 60 |
| .025 | 5.29 | 3.93 | 3.34 | 3.01 | 2.79 | 2.63 | 2.51 | 2.41 | 2.33 | 2.27 | 2.22 | .025 |
| .01 | 7.08 | 4.98 | 4.13 | 3.65 | 3.34 | 3.12 | 2.95 | 2.82 | 2.72 | 2.63 | 2.56 | .01 |
| 120 .05 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.17 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | .05 120 |
| .025 | 5.15 | 3.80 | 3.23 | 2.89 | 2.67 | 2.52 | 2.39 | 2.30 | 2.22 | 2.16 | 2.10 | .025 |
| .01 | 6.95 | 4.79 | 3.95 | 3.48 | 3.17 | 2.96 | 2.79 | 2.66 | 2.56 | 2.47 | 2.40 | .01 |
| ∞ .05 | 3.84 | 3.00 | 2.60 | 2.37 | 2.21 | 2.10 | 2.01 | 1.94 | 1.88 | 1.83 | 1.79 | .05 ∞ |
| .025 | 5.02 | 3.69 | 3.11 | 2.79 | 2.57 | 2.41 | 2.29 | 2.19 | 2.11 | 2.05 | 1.99 | .025 |
| .01 | 6.83 | 4.61 | 3.78 | 3.32 | 3.02 | 2.80 | 2.64 | 2.51 | 2.41 | 2.32 | 2.25 | .01 |

تابع الجدول (٩)
القيم المخرجة لتوزيع ف

| α | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | α | α |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| 11 .05
.025
.01 | 2.79
3.43
4.40 | 2.72
3.33
4.25 | 2.65
3.23
4.10 | 2.61
3.17
4.02 | 2.57
3.12
3.94 | 2.53
3.06
3.86 | 2.49
3.00
3.78 | 2.45
2.94
3.69 | 2.40
2.88
3.60 | .05
.02
.01 |
| 12 .05
.025
.01 | 2.69
3.28
4.16 | 2.62
3.18
4.01 | 2.54
3.07
3.86 | 2.51
3.02
3.78 | 2.47
2.96
3.70 | 2.43
2.91
3.62 | 2.38
2.85
3.54 | 2.34
2.79
3.45 | 2.30
2.72
3.36 | .05
.02
.01 |
| 15 .05
.025
.01 | 2.48
2.96
3.67 | 2.40
2.86
3.52 | 2.33
2.76
3.37 | 2.39
2.70
3.29 | 2.25
2.64
3.21 | 2.20
2.59
3.13 | 2.16
2.52
3.05 | 2.11
2.46
2.96 | 2.07
2.40
2.87 | .05
.02
.01 |
| 20 .05
.025
.01 | 2.28
2.68
3.23 | 2.20
2.57
3.09 | 2.12
2.46
2.94 | 2.08
2.41
2.86 | 2.04
2.35
2.78 | 1.99
2.29
2.69 | 1.95
2.22
2.61 | 1.90
2.16
2.52 | 1.84
2.09
2.42 | .05
.02
.01 |
| 24 .05
.025
.01 | 2.18
2.54
3.03 | 2.11
2.44
2.89 | 2.03
2.33
2.74 | 1.98
2.27
2.66 | 1.94
2.21
2.58 | 1.89
2.15
2.49 | 1.84
2.08
2.40 | 1.79
2.01
2.31 | 1.73
1.94
2.21 | .0
.0
.0 |
| 30 .05
.025
.01 | 2.09
2.41
2.84 | 2.01
2.31
2.70 | 1.93
2.20
2.55 | 1.89
2.14
2.47 | 1.84
2.07
2.39 | 1.79
2.01
2.30 | 1.74
1.94
2.21 | 1.68
1.87
2.11 | 1.62
1.79
2.01 | .05
.02
.01 |
| 40 .05
.025
.01 | 2.04
2.29
2.66 | 1.92
2.18
2.52 | 1.84
2.07
2.37 | 1.79
2.01
2.29 | 1.74
1.94
2.20 | 1.69
1.88
2.11 | 1.64
1.80
2.02 | 1.58
1.72
1.92 | 1.51
1.64
1.80 | .0
.0
.0 |
| 60 .05
.025
.01 | 1.92
2.17
2.50 | 1.84
2.06
2.35 | 1.75
1.94
2.20 | 1.70
1.88
2.12 | 1.65
1.82
2.03 | 1.59
1.74
1.94 | 1.53
1.67
1.84 | 1.47
1.58
1.73 | 1.39
1.48
1.60 | .0
.0
.0 |
| 120 .05
.025
.01 | 1.83
2.05
2.34 | 1.75
1.95
2.19 | 1.66
1.82
2.03 | 1.61
1.76
1.95 | 1.55
1.69
1.86 | 1.50
1.61
1.76 | 1.43
1.53
1.66 | 1.35
1.43
1.53 | 1.25
1.31
1.38 | .0
.0
.0 |
| ∞ .05
.025
.01 | 1.75
1.94
2.18 | 1.67
1.83
2.04 | 1.57
1.71
1.88 | 1.52
1.64
1.79 | 1.46
1.57
1.70 | 1.39
1.48
1.59 | 1.32
1.39
1.47 | 1.22
1.27
1.32 | 1.00
1.00
1.00 | .0
.0
.0 |

الجدول (١٠)
القيم المحرجة لمعامل ارتباط الرتب (سبيرمان)

| n | $\alpha = 0.05$ | $\alpha = 0.025$ | $\alpha = 0.01$ | $\alpha = 0.005$ |
|-----|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 5 | 0.900 | — | — | — |
| 6 | 0.829 | 0.886 | 0.943 | — |
| 7 | 0.714 | 0.786 | 0.893 | — |
| 8 | 0.643 | 0.738 | 0.833 | 0.881 |
| 9 | 0.600 | 0.683 | 0.783 | 0.833 |
| 10 | 0.564 | 0.648 | 0.745 | 0.794 |
| 11 | 0.523 | 0.623 | 0.736 | 0.818 |
| 12 | 0.497 | 0.591 | 0.703 | 0.780 |
| 13 | 0.475 | 0.566 | 0.673 | 0.745 |
| 14 | 0.457 | 0.545 | 0.646 | 0.716 |
| 15 | 0.441 | 0.525 | 0.623 | 0.689 |
| 16 | 0.425 | 0.507 | 0.601 | 0.666 |
| 17 | 0.412 | 0.490 | 0.582 | 0.645 |
| 18 | 0.399 | 0.476 | 0.564 | 0.625 |
| 19 | 0.388 | 0.462 | 0.549 | 0.608 |
| 20 | 0.377 | 0.450 | 0.534 | 0.591 |
| 21 | 0.368 | 0.438 | 0.521 | 0.576 |
| 22 | 0.359 | 0.428 | 0.508 | 0.562 |
| 23 | 0.351 | 0.418 | 0.496 | 0.549 |
| 24 | 0.343 | 0.409 | 0.485 | 0.537 |
| 25 | 0.336 | 0.400 | 0.475 | 0.526 |
| 26 | 0.329 | 0.392 | 0.465 | 0.515 |
| 27 | 0.323 | 0.385 | 0.456 | 0.505 |
| 28 | 0.317 | 0.377 | 0.448 | 0.496 |
| 29 | 0.311 | 0.370 | 0.440 | 0.487 |
| 30 | 0.305 | 0.364 | 0.432 | 0.478 |



الجدول (١١)

التحويل ع = $\frac{1}{p}$ لو $\frac{1}{1-p}$ معامل الارتباط

| | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| .0 | 0.000 | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | 0.050 | 0.060 | 0.070 | 0.080 | 0.090 |
| .1 | .100 | .110 | .121 | .131 | .141 | .151 | .161 | .172 | .182 | .192 |
| .2 | .203 | .213 | .224 | .234 | .245 | .255 | .266 | .277 | .288 | .299 |
| .3 | .310 | .321 | .332 | .343 | .354 | .365 | .377 | .388 | .400 | .412 |
| .4 | .424 | .436 | .448 | .460 | .472 | .485 | .497 | .510 | .523 | .536 |
| .5 | .549 | .563 | .576 | .590 | .604 | .618 | .633 | .648 | .662 | .678 |
| .6 | .693 | .709 | .725 | .741 | .758 | .775 | .793 | .811 | .829 | .848 |
| .7 | .867 | .887 | .908 | .929 | .950 | .973 | .996 | 1.020 | 1.045 | 1.071 |
| .8 | 1.099 | 1.127 | 1.157 | 1.188 | 1.221 | 1.256 | 1.293 | 1.333 | 1.376 | 1.422 |
| | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.008 | 0.009 |
| 90 | 1.472 | 1.478 | 1.483 | 1.488 | 1.494 | 1.499 | 1.505 | 1.510 | 1.516 | 1.522 |
| 91 | 1.528 | 1.533 | 1.539 | 1.545 | 1.551 | 1.557 | 1.564 | 1.570 | 1.576 | 1.583 |
| 92 | 1.589 | 1.596 | 1.602 | 1.609 | 1.616 | 1.623 | 1.630 | 1.637 | 1.644 | 1.651 |
| 93 | 1.658 | 1.666 | 1.673 | 1.681 | 1.689 | 1.697 | 1.705 | 1.713 | 1.721 | 1.730 |
| 94 | 1.738 | 1.747 | 1.756 | 1.764 | 1.774 | 1.783 | 1.792 | 1.802 | 1.812 | 1.822 |
| 95 | 1.832 | 1.842 | 1.853 | 1.863 | 1.874 | 1.886 | 1.897 | 1.909 | 1.921 | 1.933 |
| 96 | 1.946 | 1.959 | 1.972 | 1.986 | 2.000 | 2.014 | 2.029 | 2.044 | 2.060 | 2.076 |
| 97 | 2.092 | 2.109 | 2.127 | 2.146 | 2.165 | 2.185 | 2.205 | 2.227 | 2.249 | 2.273 |
| 98 | 2.298 | 2.323 | 2.351 | 2.380 | 2.410 | 2.443 | 2.477 | 2.515 | 2.555 | 2.599 |
| 99 | 2.646 | 2.700 | 2.759 | 2.826 | 2.903 | 2.994 | 3.106 | 3.250 | 3.453 | 3.800 |

الجدول (١٢)
قيم معامل الارتباط r بدلالة n

| | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.000 | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | 0.050 | 0.060 | 0.070 | 0.080 | 0.090 |
| .1 | .100 | .110 | .119 | .129 | .139 | .149 | .159 | .168 | .178 | .187 |
| .2 | .197 | .207 | .216 | .226 | .236 | .245 | .254 | .264 | .273 | .282 |
| .3 | .291 | .300 | .310 | .319 | .327 | .336 | .345 | .354 | .363 | .371 |
| .4 | .380 | .389 | .397 | .405 | .414 | .422 | .430 | .438 | .446 | .454 |
| .5 | .462 | .470 | .478 | .485 | .493 | .500 | .508 | .515 | .523 | .530 |
| .6 | .537 | .544 | .551 | .558 | .565 | .572 | .578 | .585 | .592 | .598 |
| .7 | .604 | .611 | .617 | .623 | .629 | .635 | .641 | .647 | .653 | .658 |
| .8 | .664 | .670 | .675 | .680 | .686 | .691 | .696 | .701 | .706 | .711 |
| .9 | .716 | .721 | .726 | .731 | .735 | .740 | .744 | .749 | .753 | .757 |
| 1.0 | .762 | .766 | .770 | .774 | .778 | .782 | .786 | .790 | .793 | .797 |
| 1.1 | .800 | .804 | .808 | .811 | .814 | .818 | .821 | .824 | .828 | .831 |
| 1.2 | .834 | .837 | .840 | .843 | .846 | .848 | .851 | .854 | .856 | .859 |
| 1.3 | .862 | .864 | .867 | .869 | .872 | .874 | .876 | .879 | .881 | .883 |
| 1.4 | .885 | .888 | .890 | .892 | .894 | .896 | .898 | .900 | .902 | .903 |
| 1.5 | .905 | .907 | .909 | .910 | .912 | .914 | .915 | .917 | .919 | .920 |
| 1.6 | .922 | .923 | .925 | .926 | .928 | .929 | .930 | .932 | .933 | .934 |
| 1.7 | .935 | .937 | .938 | .939 | .940 | .941 | .942 | .944 | .945 | .946 |
| 1.8 | .947 | .948 | .949 | .950 | .951 | .952 | .953 | .954 | .954 | .955 |
| 1.9 | .956 | .957 | .958 | .959 | .960 | .960 | .961 | .962 | .963 | .963 |
| 2.0 | .964 | .965 | .965 | .966 | .967 | .967 | .968 | .969 | .969 | .970 |
| 2.1 | .970 | .971 | .972 | .972 | .973 | .973 | .974 | .974 | .975 | .975 |
| 2.2 | .976 | .976 | .977 | .977 | .978 | .978 | .978 | .979 | .979 | .980 |
| 2.3 | .980 | .980 | .981 | .981 | .982 | .982 | .982 | .983 | .983 | .983 |
| 2.4 | .984 | .984 | .984 | .985 | .985 | .985 | .986 | .986 | .986 | .986 |
| 2.5 | .987 | .987 | .987 | .987 | .988 | .988 | .988 | .988 | .989 | .989 |
| 2.6 | .989 | .989 | .989 | .990 | .990 | .990 | .990 | .990 | .991 | .991 |
| 2.7 | .991 | .991 | .991 | .992 | .992 | .992 | .992 | .992 | .992 | .992 |
| 2.8 | .993 | .993 | .993 | .993 | .993 | .993 | .993 | .994 | .994 | .994 |
| 2.9 | .994 | .994 | .994 | .994 | .994 | .995 | .995 | .995 | .995 | .995 |

الجدول (١٣)
الاحتمالات المتجمعة في اختبار التلاحقات

| (n_1, n_2) | α | | | | | | | | |
|--------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| (2, 3) | 0.200 | 0.500 | 0.900 | 1.000 | | | | | |
| (2, 4) | 0.133 | 0.400 | 0.800 | 1.000 | | | | | |
| (2, 5) | 0.095 | 0.333 | 0.714 | 1.000 | | | | | |
| (2, 6) | 0.071 | 0.286 | 0.643 | 1.000 | | | | | |
| (2, 7) | 0.056 | 0.250 | 0.583 | 1.000 | | | | | |
| (2, 8) | 0.044 | 0.222 | 0.533 | 1.000 | | | | | |
| (2, 9) | 0.036 | 0.200 | 0.491 | 1.000 | | | | | |
| (2, 10) | 0.030 | 0.182 | 0.455 | 1.000 | | | | | |
| (3, 3) | 0.100 | 0.300 | 0.700 | 0.900 | 1.000 | | | | |
| (3, 4) | 0.057 | 0.200 | 0.543 | 0.800 | 0.971 | 1.000 | | | |
| (3, 5) | 0.036 | 0.143 | 0.429 | 0.714 | 0.929 | 1.000 | | | |
| (3, 6) | 0.024 | 0.107 | 0.345 | 0.643 | 0.881 | 1.000 | | | |
| (3, 7) | 0.017 | 0.083 | 0.283 | 0.583 | 0.833 | 1.000 | | | |
| (3, 8) | 0.012 | 0.067 | 0.236 | 0.533 | 0.788 | 1.000 | | | |
| (3, 9) | 0.009 | 0.055 | 0.200 | 0.491 | 0.745 | 1.000 | | | |
| (3, 10) | 0.007 | 0.045 | 0.171 | 0.455 | 0.706 | 1.000 | | | |
| (4, 4) | 0.029 | 0.114 | 0.371 | 0.629 | 0.886 | 0.971 | 1.000 | | |
| (4, 5) | 0.016 | 0.071 | 0.262 | 0.500 | 0.786 | 0.929 | 0.992 | 1.000 | |
| (4, 6) | 0.010 | 0.048 | 0.190 | 0.405 | 0.690 | 0.881 | 0.976 | 1.000 | |
| (4, 7) | 0.006 | 0.033 | 0.142 | 0.333 | 0.606 | 0.833 | 0.954 | 1.000 | |
| (4, 8) | 0.004 | 0.024 | 0.109 | 0.279 | 0.533 | 0.788 | 0.929 | 1.000 | |
| (4, 9) | 0.003 | 0.018 | 0.085 | 0.236 | 0.471 | 0.745 | 0.902 | 1.000 | |
| (4, 10) | 0.002 | 0.014 | 0.068 | 0.203 | 0.419 | 0.706 | 0.874 | 1.000 | |
| (5, 5) | 0.008 | 0.040 | 0.167 | 0.357 | 0.643 | 0.833 | 0.960 | 0.992 | 1.000 |
| (5, 6) | 0.004 | 0.024 | 0.110 | 0.262 | 0.522 | 0.738 | 0.911 | 0.976 | 0.998 |
| (5, 7) | 0.003 | 0.015 | 0.076 | 0.197 | 0.424 | 0.652 | 0.854 | 0.955 | 0.992 |
| (5, 8) | 0.002 | 0.010 | 0.054 | 0.152 | 0.347 | 0.576 | 0.793 | 0.929 | 0.984 |
| (5, 9) | 0.001 | 0.007 | 0.039 | 0.119 | 0.287 | 0.510 | 0.734 | 0.902 | 0.972 |
| (5, 10) | 0.001 | 0.005 | 0.029 | 0.095 | 0.239 | 0.455 | 0.678 | 0.874 | 0.958 |
| (6, 6) | 0.002 | 0.013 | 0.067 | 0.175 | 0.392 | 0.608 | 0.825 | 0.933 | 0.987 |
| (6, 7) | 0.001 | 0.008 | 0.043 | 0.121 | 0.296 | 0.500 | 0.733 | 0.879 | 0.966 |
| (6, 8) | 0.001 | 0.005 | 0.028 | 0.086 | 0.226 | 0.413 | 0.646 | 0.821 | 0.937 |
| (6, 9) | 0.000 | 0.003 | 0.019 | 0.063 | 0.175 | 0.343 | 0.566 | 0.762 | 0.902 |
| (6, 10) | 0.000 | 0.002 | 0.013 | 0.047 | 0.137 | 0.288 | 0.497 | 0.706 | 0.864 |
| (7, 7) | 0.001 | 0.004 | 0.025 | 0.078 | 0.209 | 0.383 | 0.617 | 0.791 | 0.922 |
| (7, 8) | 0.000 | 0.002 | 0.015 | 0.051 | 0.149 | 0.296 | 0.514 | 0.704 | 0.867 |
| (7, 9) | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.035 | 0.108 | 0.231 | 0.427 | 0.622 | 0.806 |
| (7, 10) | 0.000 | 0.001 | 0.006 | 0.024 | 0.080 | 0.182 | 0.355 | 0.549 | 0.743 |
| (8, 8) | 0.000 | 0.001 | 0.009 | 0.032 | 0.100 | 0.214 | 0.405 | 0.595 | 0.786 |
| (8, 9) | 0.000 | 0.001 | 0.005 | 0.020 | 0.069 | 0.157 | 0.319 | 0.500 | 0.702 |
| (8, 10) | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.013 | 0.048 | 0.117 | 0.251 | 0.419 | 0.621 |
| (9, 9) | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.012 | 0.044 | 0.109 | 0.238 | 0.399 | 0.601 |
| (9, 10) | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.008 | 0.029 | 0.077 | 0.179 | 0.319 | 0.510 |
| (10, 10) | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.019 | 0.051 | 0.128 | 0.242 | 0.414 |

تابع الجدول (١٣).
الاحتمالات المتجمعة في اختبار التلاحقات

| (n_1, n_2) | a | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| (2, 3) | | | | | | | | | | |
| (2, 4) | | | | | | | | | | |
| (2, 5) | | | | | | | | | | |
| (2, 6) | | | | | | | | | | |
| (2, 7) | | | | | | | | | | |
| (2, 8) | | | | | | | | | | |
| (2, 9) | | | | | | | | | | |
| (2, 10) | | | | | | | | | | |
| (3, 3) | | | | | | | | | | |
| (3, 4) | | | | | | | | | | |
| (3, 5) | | | | | | | | | | |
| (3, 6) | | | | | | | | | | |
| (3, 7) | | | | | | | | | | |
| (3, 8) | | | | | | | | | | |
| (3, 9) | | | | | | | | | | |
| (3, 10) | | | | | | | | | | |
| (4, 4) | | | | | | | | | | |
| (4, 5) | | | | | | | | | | |
| (4, 6) | | | | | | | | | | |
| (4, 7) | | | | | | | | | | |
| (4, 8) | | | | | | | | | | |
| (4, 9) | | | | | | | | | | |
| (4, 10) | | | | | | | | | | |
| (5, 5) | | | | | | | | | | |
| (5, 6) | 1.000 | | | | | | | | | |
| (5, 7) | 1.000 | | | | | | | | | |
| (5, 8) | 1.000 | | | | | | | | | |
| (5, 9) | 1.000 | | | | | | | | | |
| (5, 10) | 1.000 | | | | | | | | | |
| (6, 6) | 0.998 | 1.000 | | | | | | | | |
| (6, 7) | 0.992 | 0.999 | 1.000 | | | | | | | |
| (6, 8) | 0.984 | 0.998 | 1.000 | | | | | | | |
| (6, 9) | 0.972 | 0.994 | 1.000 | | | | | | | |
| (6, 10) | 0.958 | 0.990 | 1.000 | | | | | | | |
| (7, 7) | 0.975 | 0.996 | 0.999 | 1.000 | | | | | | |
| (7, 8) | 0.949 | 0.988 | 0.998 | 1.000 | 1.000 | | | | | |
| (7, 9) | 0.916 | 0.975 | 0.994 | 0.999 | 1.000 | | | | | |
| (7, 10) | 0.879 | 0.957 | 0.990 | 0.998 | 1.000 | | | | | |
| (8, 8) | 0.900 | 0.968 | 0.991 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | | | | |
| (8, 9) | 0.843 | 0.939 | 0.980 | 0.996 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | | | |
| (8, 10) | 0.782 | 0.903 | 0.964 | 0.990 | 0.998 | 1.000 | 1.000 | | | |
| (9, 9) | 0.762 | 0.891 | 0.956 | 0.988 | 0.997 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | |
| (9, 10) | 0.681 | 0.834 | 0.923 | 0.974 | 0.992 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| (10, 10) | 0.586 | 0.758 | 0.872 | 0.949 | 0.981 | 0.996 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

الجدول (١٤)

القيم الحرجة لاختبار ويلكوكسن للمقارنات التزاوجية

| n | One-sided $\alpha = 0.01$
Two-sided $\alpha = 0.02$ | One-sided $\alpha = 0.025$
Two-sided $\alpha = 0.05$ | One-sided $\alpha = 0.05$
Two-sided $\alpha = 0.10$ |
|-----|--|---|--|
| 5 | | | 1 |
| 6 | | 1 | 2 |
| 7 | 0 | 2 | 4 |
| 8 | 2 | 4 | 6 |
| 9 | 3 | 6 | 8 |
| 10 | 5 | 8 | 11 |
| 11 | 7 | 11 | 14 |
| 12 | 10 | 14 | 17 |
| 13 | 13 | 17 | 21 |
| 14 | 16 | 21 | 26 |
| 15 | 20 | 25 | 30 |
| 16 | 24 | 30 | 36 |
| 17 | 28 | 35 | 41 |
| 18 | 33 | 40 | 47 |
| 19 | 38 | 46 | 54 |
| 20 | 43 | 52 | 60 |
| 21 | 49 | 59 | 68 |
| 22 | 56 | 66 | 75 |
| 23 | 62 | 73 | 83 |
| 24 | 69 | 81 | 92 |
| 25 | 77 | 90 | 101 |
| 26 | 85 | 98 | 110 |
| 27 | 93 | 107 | 120 |
| 28 | 102 | 117 | 130 |
| 29 | 111 | 127 | 141 |
| 30 | 120 | 137 | 152 |

† Reproduced from F. Wilcoxon and R. A. Wilcox *Some Rapid Approximate Statistical Procedures*, American Cyanamid Company, Pearl River, N.Y., 1964 by permission of the American Cyanamid Company

الجدول (١٥)

الاحتمالات ل (س ≤ س) في اختبار التماثل

For $n = 3$, $F(2) = 1 - 0.167 = 0.833$.

For $n = 4$, $F(3) = 1 - 0.375 = 0.625$, $F(4) = 1 - 0.167 = 0.833$, etc.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|---|---|---|
| $n=3$ | $n=4$ | $n=5$ | $n=6$ | $n=7$ | $n=8$ | $n=9$ | $n=10$ | $n=11$ |
| 0.167
1.500 | 0.042
1.167
2.375 | 0.008
1.042
2.117
3.242
4.408 | 0.001
1.008
2.028
3.068
4.136
5.235
6.360
7.500 | 0.001
1.001
2.005
3.015
4.035
5.068
6.119
7.191
8.281
9.386
10.500 | 0.001
2.003
3.003
4.007
5.016
6.031
7.054
8.089
9.138
10.199
11.274
12.360
13.452 | 0.001
4.001
5.003
6.006
7.012
8.022
9.038
10.060
11.090
12.130
13.179
14.238
15.306
16.381
17.460 | 0.001
6.001
7.002
8.005
9.008
10.014
11.023
12.036
13.054
14.078
15.108
16.146
17.190
18.242
19.300
20.364
21.431
22.500 | 0.001
8.001
9.002
10.003
11.005
12.008
13.013
14.020
15.030
16.043
17.060
18.082
19.109
20.141
21.179
22.223
23.271
24.324
25.381
26.440
27.500 |
| $n=20$ | $n=19$ | $n=18$ | $n=17$ | $n=16$ | $n=15$ | $n=14$ | $n=13$ | $n=12$ |
| 0.001
50.002
51.002
52.002
53.003
54.004
55.005
56.006
57.007
58.008
59.010
60.012
61.014
62.017
63.020
64.023
65.027
66.032
67.037
68.043
69.049
70.056
71.064
72.073
73.082
74.093
75.104
76.117
77.130
78.144
79.159
80.176
81.193
82.211
83.230
84.250
85.271
86.293
87.315
88.339
89.362
90.387
91.411
92.436
93.462
94.487 | 0.001
43.001
44.002
45.002
46.003
47.003
48.004
49.005
50.006
51.008
52.010
53.012
54.014
55.017
56.021
57.025
58.029
59.034
60.040
61.047
62.054
63.062
64.072
65.082
66.093
67.105
68.119
69.133
70.149
71.166
72.184
73.203
74.223
75.245
76.267
77.290
78.314
79.339
80.365
81.391
82.418
83.445
84.473
85.500 | 0.001
38.001
39.002
40.003
41.003
42.004
43.005
44.007
45.009
46.011
47.013
48.016
49.020
50.024
51.029
52.034
53.041
54.048
55.056
56.066
57.076
58.088
59.100
60.115
61.130
62.147
63.165
64.184
65.205
66.227
67.250
68.275
69.300
70.327
71.354
72.383
73.411
74.441
75.470
76.500 | 0.001
32.001
33.002
34.002
35.003
36.004
37.005
38.007
39.009
40.011
41.014
42.017
43.021
44.026
45.032
46.038
47.046
48.054
49.064
50.076
51.088
52.102
53.118
54.135
55.154
56.174
57.196
58.220
59.245
60.271
61.299
62.328
63.358
64.388
65.420
66.452
67.484 | 0.001
2.001
28.002
29.002
30.003
31.004
32.006
33.008
34.010
35.013
36.016
37.021
38.026
39.032
40.039
41.048
42.058
43.070
44.083
45.097
46.114
47.133
48.153
49.175
50.199
51.225
52.253
53.282
54.313
55.345
56.378
57.412
58.447
59.482 | 0.001
23.001
24.002
25.003
26.004
27.006
28.008
29.010
30.014
31.018
32.023
33.029
34.037
35.046
36.057
37.070
38.084
39.101
40.120
41.141
42.164
43.190
44.218
45.248
46.279
47.313
48.349
49.385
50.423
51.461
52.500 | 0.001
18.001
19.002
20.002
21.003
22.005
23.007
24.010
25.013
26.018
27.024
28.031
29.040
30.051
31.063
32.079
33.096
34.117
35.140
36.165
37.194
38.225
39.259
40.295
41.334
42.374
43.415
44.457
45.500 | 0.001
14.001
15.001
16.002
17.003
18.005
19.007
20.011
21.015
22.021
23.029
24.038
25.050
26.064
27.082
28.102
29.126
30.153
31.184
32.218
33.255
34.295
35.338
36.383
37.429
38.476 | 0.001
11.001
12.002
13.003
14.004
15.007
16.010
17.016
18.022
19.031
20.043
21.058
22.076
23.098
24.125
25.155
26.190
27.230
28.273
29.319
30.369
31.420
32.473 |

References

- Bhattacharyya, G. and Johnson R.: Statistical Concepts and Methods, Wiley, 1977.
- Bishop, O. N.: Statistics for Biology, Longman, 1971.
- Cochran, W. G.: Sampling Techniques, Wiley, 1977.
- Cochran, W. G. and Cox, G. M.: Experimental Designs, Wiley, 1957.
- Colquhoun, D.: Lectures on Biostatistics, Clarendon Press, Oxford, 1971.
- Freund, J. E.: Modern Elementary Statistics, Pentice - Hall, 1987.
- Gunst, R. E. and Mason, R.L.: Regression Analysis and Application.
- Hays, W. L.: Statistics for Social Sciences, Holt, Rinehart and Winston, 1973.
- Hill, A. B.: A Short Textbook of Medical Statistics, Lancet, 1984.
- Kreyszig, E.: Introductory Mathematical Statistics, Wiley, 1970.
- Krumben, W. C. and Graybill, F. A.: Statistical Models in Geology, McGraw-Hill, 1965.
- Milton, J. S. and Others: Introduction to Statistics, Heath and Company, 1986.
- Nalimov, V. V.: The Application of Mathematical Statistics to Chemical Analysis.
- Skane, D. H.: Elementary Statistics, Addison-Wesley, 1985.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J.: Introduction to Biostatistics, Freeman, 1973.
- Snedecor, G. W. and Cochran, W. G.: Statistical Methods, Iowa State Univ. Press, 1980.
- Sykes, M. N. and Vickers, M. D.: Principles of Clinical Measurement, McGraw-Hill, 1982.
- Walpole, R. and Myers, R.: Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Macmillan, 1978.
- Wardlaw, A.C: Practical Statistics for Experimental Biologists.
- Winer, B. J.: Statistical Principles in Experimental Designs, McGraw-Hill, 1971.
- Zuwaylif, F. H.: Applied Business Statistics, Addison-Wesley, 1984.

يعرض هذا الكتاب شيئاً مما يسمى بالإحصاء التطبيقي ، وهو يتناول جل المفاهيم والطرق والنماذج الإحصائية التي يحتاج إليها الطلاب والباحثون التطبيقيون في مختلف ميادين البحث العلمي . وتستند معالجة الموضوعات المقدمة على أمثلة توضيحية تيسر للقارئ تقبل ما يعرض من مادة وتضيء له طريق استخدامها في التطبيقات العملية . وتدعم هذه المعالجة بتأريين صممت لتستثير فكر القارئ وتعاونه على ربط النقاط الأساسية فيما يقرأ ، كما تمنحه الفرصة لتقويم ما استوعبه من المادة وتحسين هذا الاستيعاب عن طريق التفتية المرتجعة التي توفرها الأجوبة الشاملة المعطاه بالملحق (١) لهذا الكتاب .

والناشر إذ يفخر بتقديم هذا المرجع القيم يرجو أن يكون فيه إضافة جوهريّة للمكتبة العربية .